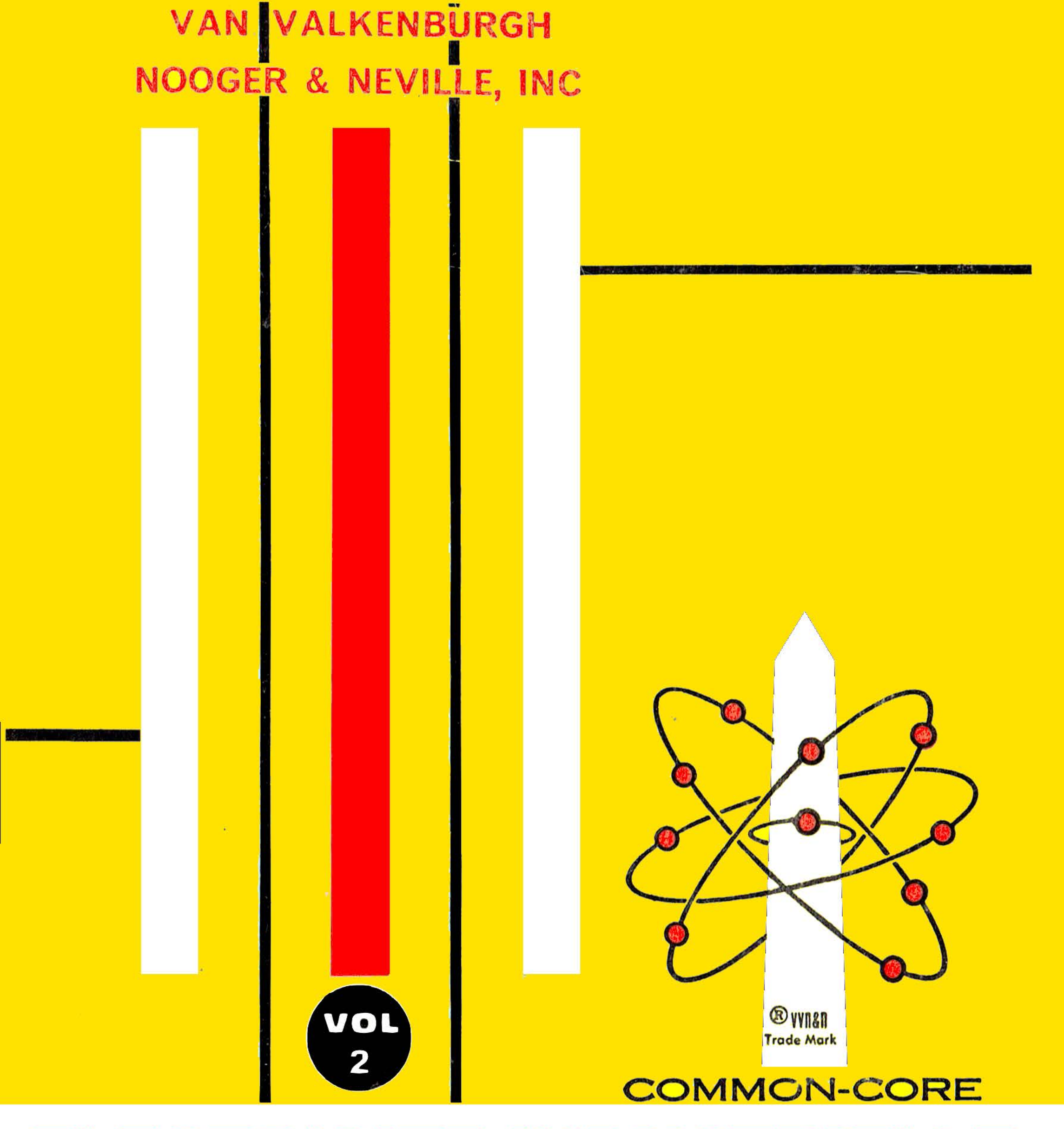
VAN VALKENBURGH
NOOGER & NEVILLE, INC



ELECTRICITE INDUSTRIELLE

Systèmes industriels de contrôle des fluides - Contrôle de fabrication et vérification des produits - Télécommande, télémesure et contrôle à distance - Le chauffage et le soudage électriques - Systèmes divers de contrôle Industriel.

Procédé TRAINER-TESTER

EDITIONS GAMMA

PROGRAMME COMMON-CORE

ÉLECTRICITÉ

1. D'où vient l'électricité — Action de l'électricité — Courant, tension, résistance — Magnétisme — Appareils de mesure pour courant continu.
2. Circuits en courant continu — Lois d'Ohm et de Kirchhoff — Puissance électrique.
3. Courant alternatif — Résistance, inductance, capacité en courant alternatif — Réactance — Appareils de mesure pour courant alternatif.
4. Impédance — Circuits en courant alternatif — Résonance série et résonance parallèle — Transformateurs.
5. Génératrices et moteurs à courant continu — Alternateurs et moteurs à courant alternatif — Dispositifs contrôleurs de puissance.
6. T-T 1 à 5. Fascicule programmé complémentaire — Auto-contrôle par questions-tests à choix multiple — Procédé Trainer-Tester.

ÉLECTRONIQUE

1. Introduction à l'électronique — Lampes à deux électrodes — Redresseurs secs — Qu'est-ce qu'un ensemble d'alimentation — Filtres régulateurs de tension.
2. Introduction aux amplificateurs — Triode — Tétrode et penthodes — Amplificateurs de tension et de puissance basse fréquence.
3. Amplificateurs vidéo — Amplificateurs haute fréquence — Oscillateurs.
4. Émetteurs — Lignes de transmission et antennes — Émission d'ondes entretenues et modulation d'amplitude.
5. Antennes de réception — Détecteurs et mélangeurs — Récepteurs à amplification directe — Récepteurs superhétérodynes.
6. Électronique de l'état solide — Diodes à semi-conducteurs — Fonctionnement d'un transistor — Circuits de transistors — Récepteurs à transistors — Principes de la modulation de fréquence — Émetteurs à modulation de fréquence — Récepteurs à modulation de fréquence.

SYSTÈMES DE SYNCHRONISATION ET SERVOMÉCANISMES

1. Introduction aux systèmes d'asservissement — Synchro-machines — Synchro-différentiel, Selsyns — Introduction aux servomécanismes — Construction d'un servomécanisme.
2. Détecteurs d'erreurs — Servomoteurs et servoamplificateurs — Thyratrons et circuits de commande — Système Ward Léonard et système de commande amplidyne — Suppression des oscillations pendulaires et transmission asservie à deux vitesses.

RADARS

Principe et fonctionnement — Le radar à impulsions — Le radar à ondes entretenues — Guides d'ondes et aériens.

ÉLECTRICITÉ INDUSTRIELLE

1. Introduction — La distribution de l'énergie électrique — L'éclairage — La commande des machines électromécaniques — Servomécanismes électromécaniques de contrôle — Dispositif de contrôle des fluides.
2. Systèmes industriels de contrôle des fluides — Contrôle de fabrication et vérification des produits — Télécommande, télémesure, et contrôle à distance — Le chauffage et le soudage électriques — Systèmes divers de contrôle industriel.

CIRCUITS ÉLECTRONIQUES

1. Section 1 : Les signaux — Réponses des circuits RC, RL, RLC — Ligne à retard — Action cumulative — Réponses des circuits à lampes et à transistors.
   Dictionnaire — Circuits de mise en forme de l'amplitude — Générateurs d'impulsions rectangulaires — Circuits multiplicateurs et diviseurs de durée d'impulsions.
2. Les bases de temps à déviation électrostatique et à déviation électromagnétique — Les impulsions de repérage — Circuits de liaison ou de coupage.

NOOGER & NEVILLE, INC

Ingénieurs conseils en organisation et en formation

ÉLECTRICITÉ INDUSTRIELLE

Traduit et adapté par Jacques MATALON
Direction pédagogique : Armand BIANCHERI

2

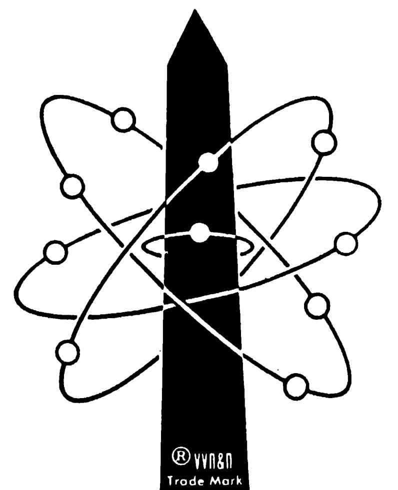
La distribution de l'énergie électrique

L'éclairage

La commande des machines électromécaniques

Servo-mécanismes électromécaniques de contrôle et de commande

Dispositif de contrôle des fluides



COMMON-CORE

THE BROLET PRESS - NEW YORK

EDITIONS GAMMA

1, rue Garancière, Paris 6e

9, rue B. Frison, Tournai (Belgique)

Édition française, 1re édition 1968
2e édition 1971
3e édition 1975
4e édition 1976

Il existe de nombreuses éditions de ces ouvrages dont :

une édition espagnole

une édition portugaise

une édition anglaise

une édition américaine

ISBN 2 — 7130 — 0127 — 7 (édition complète)

ISBN 2 — 7130 — 0129 — 3 (volume 2)

D — 1975 — 0195 — 18

Ouvrage publié sous la direction pédagogique de Armand Biancheri

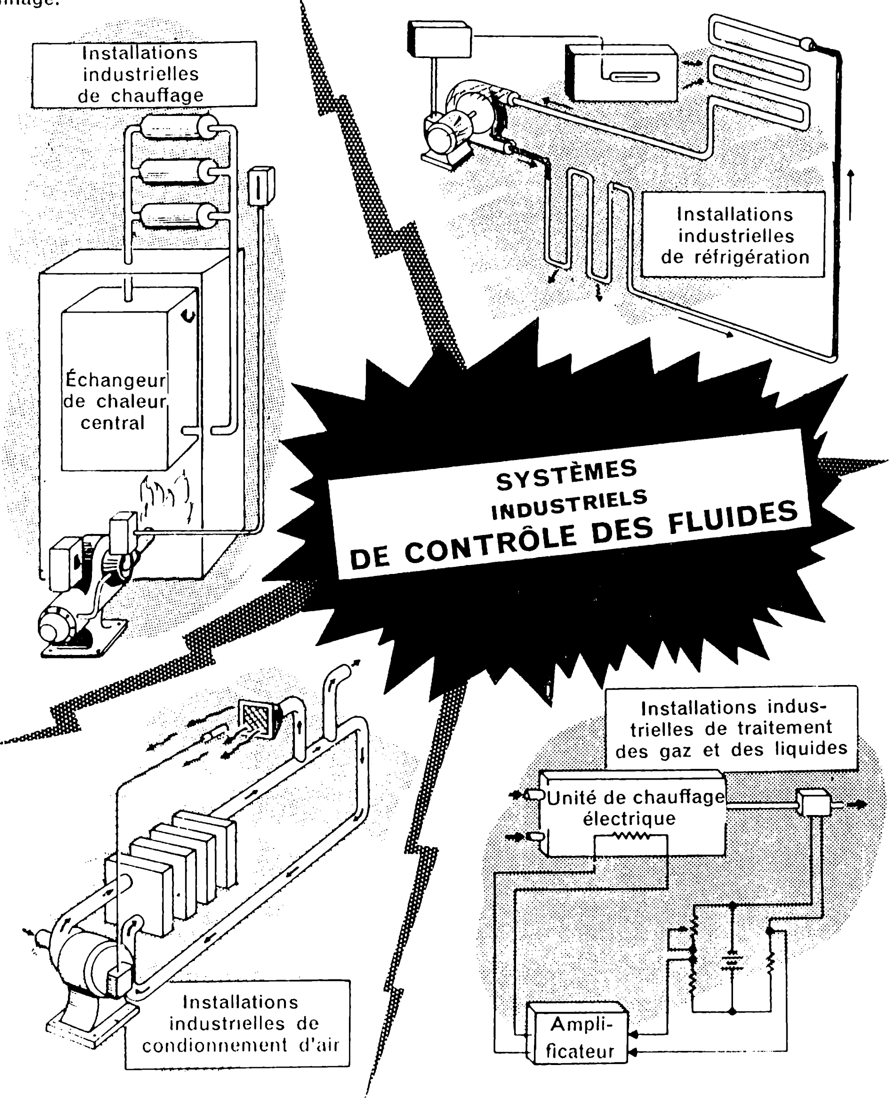
TABLE DES MATIÈRES


L'ÉLECTRICITÉ
INDUSTRIELLE

SYSTÈMES INDUSTRIELS DE CONTRÔLE DES FLUIDES

INTRODUCTION

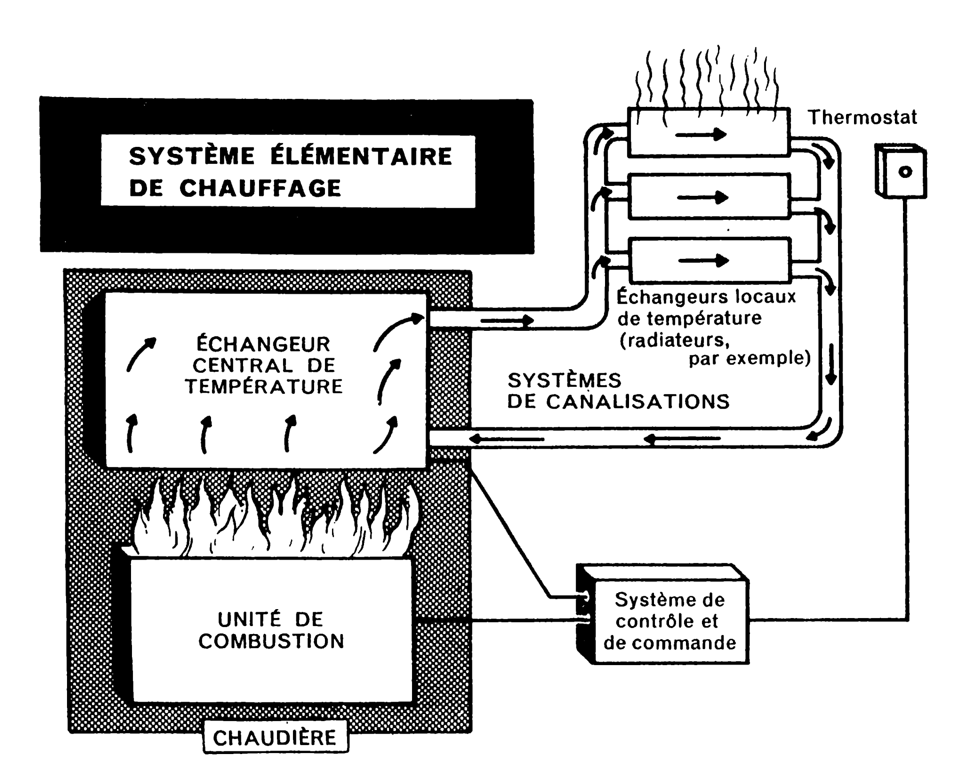
Le volume 1 vous a permis de vous documenter sur quelques-uns des divers dispositifs de contrôle des fluides. Nous allons étudier maintenant l'utilisation de ces dispositifs pour le contrôle des fluides à l'échelle industrielle. Cette section est consacrée à la description des installations industrielles typiques de chauffage, de refrigération, de conditionnement d'air, ainsi qu'aux unités de traitement des gaz et des liquides. Ces installations sont d'importance vitale pour le fonctionnement de la plupart des industries modernes, et les unités de traitement des gaz et des liquides sont largement utilisées dans les industries alimentaires, pharmaceutiques, chimiques et de raffinage.



INSTALLATIONS INDUSTRIELLES DE CHAUFFAGE

Dans les installations industrielles de chauffage, on utilise un fluide pour transporter la chaleur d'un endroit à un autre. Le fluide, de l'eau, par exemple, ou encore de la vapeur ou de l'air, est réchauffé par une chaudière, et transmis par des canalisations ou tuyauteries à l'endroit où l'on souhaite une élévation de la température. (Le chauffage électrique sera traité à la section 10.) Du fait que la chaleur est transportée par l'intermédiaire d'un fluide, une partie des dispositifs de contrôle des fluides étudiés dans le cadre de la section 6, peuvent être décrits maintenant sous l'angle de leurs applications pratiques. Comme on l'a déjà indiqué dans cette section, de nombreux systèmes de contrôle des fluides ne sont pas des dispositifs électriques; nous ne les mentionnerons donc que très brièvement. Mais, en revanche, nous insisterons plus particulièrement sur les aspects électriques des installations industrielles de chauffage.

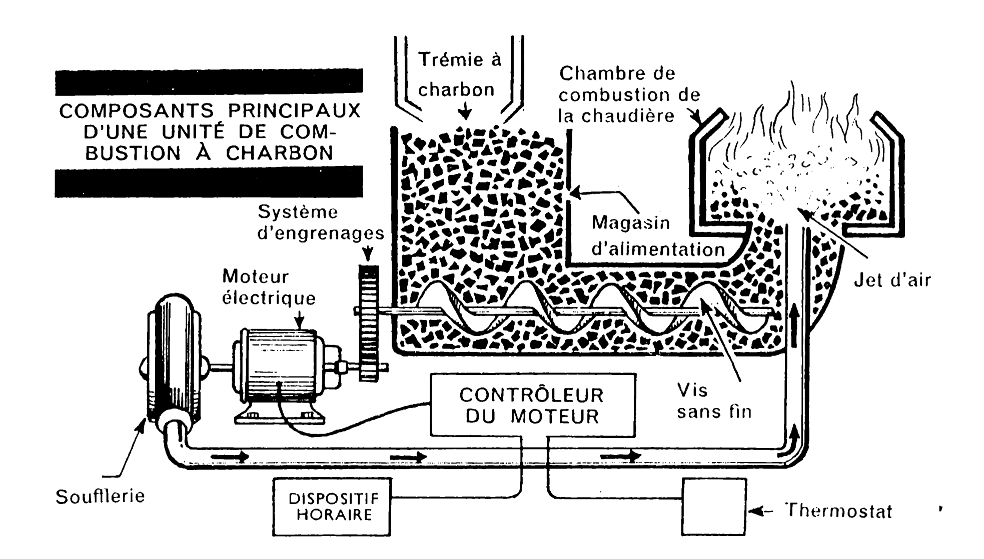
Une installation de chauffage comporte quatre parties principales. La première est l'unité de combustion qui brûle un combustible (tel que du charbon, du coke, du mazout ou du gaz) pour produire de la chaleur sous une forme utilisable. En second lieu, l'échangeur de température (échangeur de chaleur, ou échangeur thermique) qui amène le fluide à proximité de la source de chaleur, de façon que celui-ci puisse être chauffé. L'unité de combustion et l'échangeur central de température sont tous deux situés dans une unité appelée la « chaudière ».



Ensuite, on trouve le système de circulation qui assure le transport du fluide chauffé, depuis l'échangeur de température jusqu'aux emplacements où la chaleur est désirée. À ces endroits, des échangeurs de température locaux, des radiateurs par exemple, assurent le transfert de la chaleur du fluide à la zone qui doit être chauffée. Ensuite, le fluide refroidi retourne à l'échangeur de température principal placé à proximité de l'unité de combustion; il peut alors être réchauffé et recommencer son circuit. Enfin, il y a l'appareillage de commande et de contrôle procurant un fonctionnement sûr, efficace et coordonné de l'ensemble du système. La présente section sera consacrée aux aspects électriques de ces quatre parties principales.

Dans l'unité de combustion habituelle utilisant du charbon ou du coke, un moteur électrique entraîne un mécanisme d'engrenages qui, à son tour, actionne un système de vis sans fin dont les principes élémentaires de construction sont très similaires à ceux des moulins à hacher la viande. Le mouvement rotatif de la vis sans fin se traduit par un prélèvement de charbon situé dans un magasin d'alimentation et par son introduction dans la chambre de combustion de la chaudière. Cette alimentation en charbon se fait à la vitesse qui convient pour obtenir la quantité de chaleur désirée. Le moteur électrique actionne également un appareillage de soufflerie qui envoie des jets d'air dans la chambre de chauffe pour assurer une meilleure combustion.

Les mécanismes d'alimentation en charbon et en air ne fonctionnent pas de façon permanente. Le moteur électrique n'est mis en marche que lorsque la température de l'échangeur thermique ou de la zone à chauffer tombe au-dessous du niveau recherché. Cette mise en action est déclenchée par l'intermédiaire de thermostats. Le même circuit de commande et de contrôle assure l'arrêt du moteur électrique lorsque l'échangeur de température central ou la zone chauffée se trouvent à nouveau dans les conditions de température initialement fixées. Cependant, ce type de contrôle ne correspond pas à un fonctionnement satisfaisant; en effet, si les intervalles séparant la mise en route du mécanisme d'alimentation en charbon par les thermostats se trouvent être trop importants, le feu de la chaudière peut s'éteindre. Pour être sûr qu'une quantité suffisante de charbon est fournie à la chaudière de manière à la maintenir allumée en permanence, un dispositif horaire ou minuterie (du type décrit à la section 4) assure la mise en route périodique du mécanisme d'alimentation en charbon et en air; l'un et l'autre fonctionneront périodiquement pendant des courts laps de temps. La durée des périodes de fonctionnement et d'interruption est déterminée par les caractéristiques particulières de l'installation, et ces périodes sont calculées de manière à assurer à la fois un feu continu et une consommation minimale de combustible.

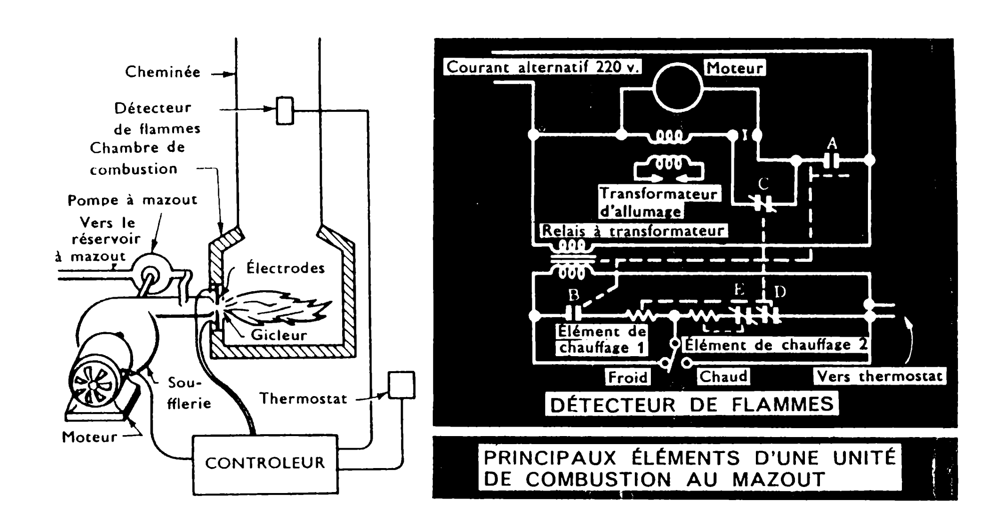


Les chaudières à mazout sont quelque peu différentes. Dans ces appareils, une pompe aspire le mazout situé dans un réservoir et le refoule dans la chambre de combustion. Pour brûler avec un rendement maximum, le mazout doit être diffusé sous forme d'une pulvérisation très fine qui est mélangée à d'importants volumes d'air. Cette pulvérisation est assurée par un gicleur qui fonctionne d'après le même principe général que les pistolets utilisés pour la peinture : il s'agit de diriger un jet d'air devant l'extrémité ouverte d'un tube par où le mazout sort. Pour obtenir un réglage sûr de la flamme, il faut utiliser un montage relativement complexe.

Lorsque le thermostat fait démarrer la pulvérisation de mazout, celui-ci est allumé par un arc électrique produit par deux électrodes qui sont placées au cœur du mélange pulvérisé. Le schéma montre l'ensemble du montage; parmi les principaux éléments de contrôle on trouve un thermostat situé dans la zone à chauffer, un interrupteur thermo-sensible appelé « détecteur de flamme » situé dans la cheminée de la chaudière, et un relais. Lorsque l'unité de combustion ne fonctionne pas, la lame bimétal du détecteur de flamme est froide, et le pôle de l'interrupteur auquel elle est reliée touche le contact « froid ». Lorsque la zone à chauffer devient plus froide que le réglage indiqué sur le thermostat local, le thermostat se ferme et la bobine du relais est excitée. Cette excitation se traduit par la fermeture des contacts A et B. Ces contacts transmettent le courant au moteur qui actionne la pompe à mazout et la soufflerie. Ces contacts fournissent également la tension au transformateur d'allumage par l'intermédiaire des contacts C du thermostat du détecteur de flamme. Une haute tension de plusieurs milliers de volts est alors engendrée entre les bornes de l'enroulement secondaire du transformateur d'allumage, produisant ainsi un arc électrique entre les électrodes d'allumage. Cet arc assure l'allumage de la pulvérisation de mazout, et la flamme est dirigée vers une chambre construite en matériaux réfractaires. La chaleur produite élève la température de l'eau ou de l'air utilisé pour transporter la chaleur dans la zone à chauffer.

Après que la flamme est restée allumée une ou deux minutes, les parois de la chambre de combustion sont très chaudes, et la chaleur qu'elles diffusent devient suffisante pour allumer le mazout pulvérisé avant qu'il ne touche les parois. Aussi, l'arc n'est-il plus nécessaire, et son extinction empêche une usure prématurée des électrodes. Cet arrêt de l'arc est assuré par le détecteur de flammes situé dans la cheminée. En effet, dans celle-ci, la température s'élève pendant une ou deux minutes, la lame bimétal du détecteur de flammes se réchauffe et déplace le pôle de l'interrupteur, du contact « froid » au contact « chaud ». Une tension est alors appliquée à l'élément de chauffage par résistance N° 1, et la chaleur produite ouvre les contacts C et D. La tension qui était appliquée au transformateur d'allumage se trouve coupée, mais la pulvérisation de mazout continue à brûler.

Lorsque la température de l'échangeur thermique ou de la zone chauffée s'élève pour atteindre le niveau désiré, les contacts du thermostat s'ouvrent. Un relais à transformateur est utilisé pour permettre l'emploi d'une basse tension dans le circuit du thermostat. L'ouverture des contacts du thermostat empêche le passage du courant dans le secondaire du relais, affaiblissant ainsi le champ magnétique qui maintient l'armature.



PRINCIPAUX ÉLÉMENTS D'UNE UNITÉ DE COMBUSTION AU MAZOUT

Les contacts A et B s'ouvrent immédiatement, et le flux de mazout et d'air est arrêté instantanément. La flamme de la chambre de combustion s'éteint. La lame bimétal du détecteur de flammes se refroidit alors rapidement, et remet le pôle de l'interrupteur en position « froid ». L'élément de chauffage N° 1 se refroidit et ferme les contacts des interrupteurs C et D. Lorsque les contacts du thermostat se refermeront, l'unité de combustion recommencera à fonctionner.

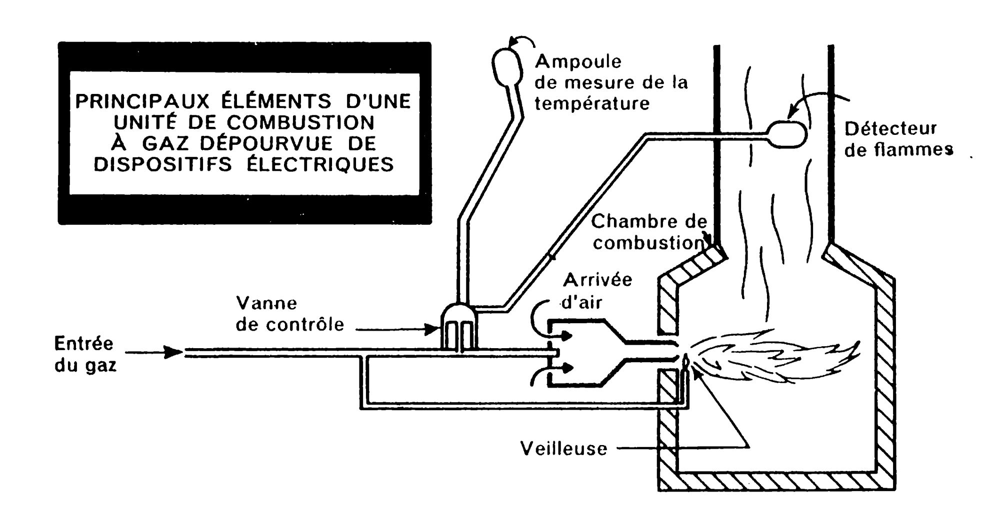
Nous avons décrit ci-dessus le fonctionnement normal du système. Nous n'avons pas mentionné l'utilité de l'élément de chauffage N° 2 et des contacts E qui lui sont associés. Ce sont des dispositifs de sécurité qui sont utilisés pour arrêter le mélange de mazout et d'air dans l'éventualité d'une panne du transformateur d'allumage ou des électrodes qui empêcherait l'établissement de l'arc; dans ce cas, la pulvérisation de mazout n'est pas allumée dans les deux minutes suivant le démarrage de la pulvérisation. Si l'arc s'établissait après une assez longue période de temps, la chambre de combustion pourrait contenir une quantité de vapeur de mazout qui serait suffisante pour provoquer une dangereuse explosion.

Examinons maintenant le fonctionnement du circuit de sécurité. Souvenez-vous que, tant que la lame bimétal du détecteur placé dans la cheminée reste froide, le pôle de l'interrupteur reste en contact avec le contact « froid ». Ceci permet au courant de traverser les deux paires de contacts marquées E et D, et de traverser ensuite l'élément N° 2 de chauffage par résistance. Si la lame bimétal est chauffée par des gaz chauds qui montent dans le conduit d'évacuation, il y a fonctionnement normal, comme précédemment décrit. Si la lame bimétal n'est pas chauffée, le courant continue à se propager dans l'élément de chauffage N° 2. Après une ou deux minutes de chauffage, les contacts E s'ouvrent et sont maintenus en position ouverte par un système de verrouillage. L'ouverture de ces contacts coupe l'excitation de la bobine du relais à transformateur, et les contacts A et B s'ouvrent, arrêtant ainsi le moteur qui pompe le mazout et l'air. Du fait du système de verrouillage des contacts E, le thermostat ne peut recommencer à fonctionner que lorsque le système de verrouillage a été débloqué à la main. Ce débloquage assure la fermeture des contacts E et permet au cycle de démarrage de recommencer. Si la flamme ne prend pas après un ou deux essais, l'opérateur peut examiner le mécanisme et réparer l'organe défectueux.

Dans une unité de combustion à gaz, un courant de gaz provenant de la canalisation de la compagnie distributrice ou d'un réservoir de stockage, est mélangé à de l'air et allumé pour former une flamme. Le gaz étant sous pression, il est inutile d'employer une pompe pour l'amener à proximité de la flamme. Au lieu d'une pompe, on utilise une vanne de contrôle qui sert à établir ou à interrompre le flux gazeux selon les besoins. Lorsque de grands volumes de gaz doivent être rapidement utilisés, par exemple dans le cas d'une chaudière, on peut employer un dispositif de soufflerie actionné par un moteur, l'ensemble servant à la fourniture de l'air à mélanger au gaz. Dans les chaudières de dimensions plus réduites, le flux rapide du gaz franchissant un étranglement situé à l'extrémité de la canalisation d'arrivée du gaz peut être utilisé pour aspirer l'air extérieur dans le gicleur afin qu'il y soit mélangé avec le gaz.

Les unités de combustion à gaz peuvent être utilisées avec une vaste gamme de systèmes de contrôle. D'une part, le contrôle peut être assuré par un montage qui est presque identique à celui décrit pour les unités à mazout. Les seules différences significatives découlent du fait que la pompe à mazout est remplacée par une vanne électrique assurant le contrôle de l'arrivée du gaz, et que, comme il a déjà été mentionné au paragraphe précédent, un dispositif de soufflerie n'est pas toujours nécessaire.

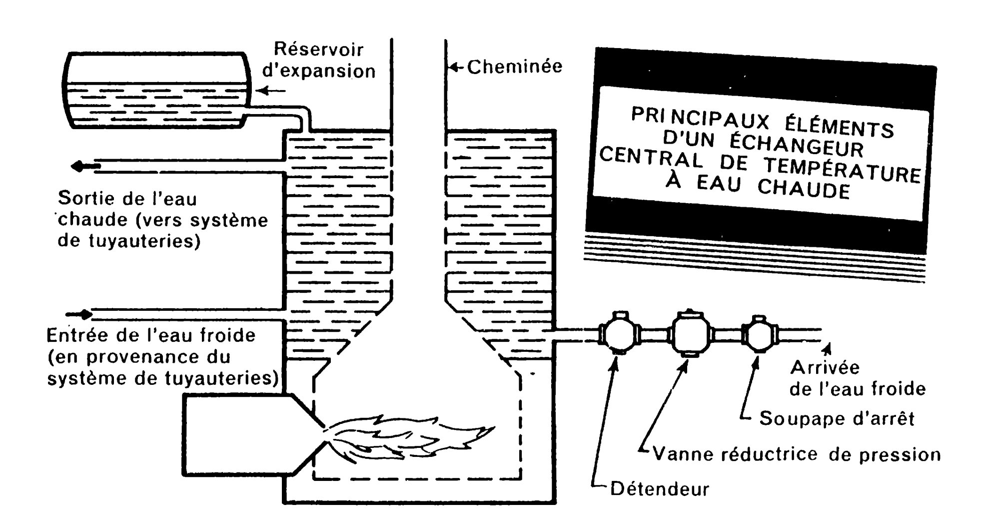
D'autre part, un contrôle adéquat peut être assuré par des dispositifs ne faisant appel à aucun appareillage électrique. Dans un montage de ce genre, la vanne qui assure la régulation du flux de gaz peut être contrôlée par les variations de pression se produisant dans une ampoule remplie de gaz et servant à la mesure de la température; cette ampoule remplace le thermostat. L'allumage du jet de gaz et d'air ne se fait pas nécessairement à l'aide d'un arc électrique; celui-ci peut être remplacé par une veilleuse qui reste continuellement allumée. L'interrupteur électrique n'est pas le seul dispositif de sécurité utilisé en cas de non-allumage du mélange gazeux provenant du gicleur. Un des montages possibles consiste à doter la vanne de contrôle du gaz d'un ressort ou d'un tube amortisseur. Lorsque cette vanne est ouverte par l'ampoule thermostat servant à la mesure de la température, elle se ferme automatiquement dans les 10 à 30 secondes suivantes, à moins que le détecteur de flammes situé dans la cheminée ne fonctionne pour la conserver en position ouverte. Le détecteur de flammes peut être une lame bimétal ou une ampoule remplie de gaz; lorsqu'il est réchauffé par les gaz chauds qui montent dans le conduit d'évacuation, la dilatation applique la pression nécessaire pour assurer le maintien en position ouverte de la vanne de contrôle du gaz.



L'échangeur de température d'une chaudière est conçu pour que l'échange de température se fasse à l'aide d'eau chaude, de vapeur ou d'air chaud. Dans les chaudières à eau chaude et à vapeur, la chambre de combustion est entourée d'une double paroi remplie d'eau qui absorbe de la chaleur. Certaines chaudières sont également dotées de séries de tubes remplis d'eau et placées autour des parois de la chambre de combustion; la chaleur est ainsi échangée sur une plus grande surface. La construction des chaudières à vapeur ou à eau chaude est identique. La différence la plus importante réside en ce que les unités à vapeur ont des parois beaucoup plus résistantes destinées à supporter la pression de la vapeur qui se forme au-dessus de la surface de l'eau.

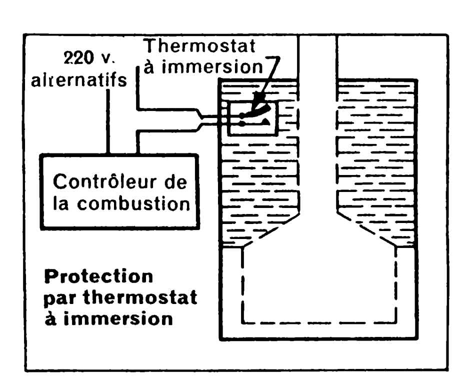
Les systèmes de contrôle utilisés dans les échangeurs thermiques à eau chaude et à vapeur sont très semblables. Le schéma ci-après représente un système typique à eau chaude. Une addition d'eau est nécessaire pour remplacer les pertes qui se produisent dans le système de circulation du montage. Pour pénétrer dans l'échangeur de température, l'eau doit franchir un ensemble de trois éléments : une soupape d'arrêt, une vanne réductrice de pression, et une vanne « détendeur ». La vanne d'arrêt empêche l'expansion d'eau chaude dans la tuyauterie d'alimentation, la vanne réductrice de pression empêche que de trop fortes pressions d'eau dans la tuyauterie d'arrivée n'amènent l'échangeur de température à fonctionner à des pressions supérieures à celles souhaitées. Et enfin, le détendeur assure une protection contre des pressions excessives dans l'échangeur de température, dans les cas de non fonctionnement du dispositif d'arrêt de l'unité de combustion.

L'eau se dilatant lorsqu'elle est chauffée, des hautes pressions non désirées seraient engendrées dans le système à défaut d'une méthode permettant à l'eau de se dilater au détriment d'un matériau facilement compressible. Un réservoir auxiliaire, rempli principalement avec de l'air et relié à la partie supérieure de l'échangeur, assure cette fonction. Lorsque l'eau de l'échangeur de température se dilate, le niveau d'eau du réservoir d'expansion monte, et l'air est facilement compressé, sans provoquer de forts et indésirables accroissements de la pression.



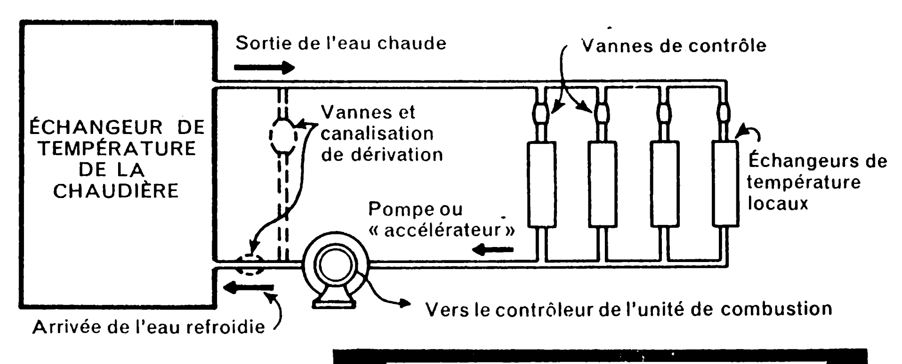
Les échangeurs de température à eau chaude sont généralement dotés d'un dispositif de protection supplémentaire, au moins. Le type le plus utilisé est un élément de commutation thermo-sensible (appelé « thermostat à immersion ») qui est immergé dans l'eau de l'échangeur de température. Quelle que soit la température de la zone à chauffer, cet élément de commutation s'ouvre et arrête l'unité de combustion lorsque la température de l'eau atteint 82 à 93°C. Cette précaution empêche l'eau d'atteindre son point d'ébullition, ce qui entraînerait une formation de vapeur et de hautes pressions dangereuses. Si on préfère un contrôle non-électrique, comme dans certaines chaudières à gaz, la protection est assurée par une ampoule de dilatation qui actionne une vanne servant à interrompre l'arrivée du gaz dans l'unité de combustion.

Dans l'échangeur thermique à vapeur, le montage est très semblable à celui du type à eau chaude. Une différence importante réside en ce que le niveau d'eau n'atteint pas le sommet de l'échangeur, l'espace libre ainsi conservé servant à emmagasiner la vapeur. Le détendeur est normalement placé au-dessus du niveau de l'eau de façon à pouvoir libérer de la vapeur, et non de l'eau, afin d'abaisser ainsi rapidement des pressions trop importantes et de ramener l'échangeur dans des conditions normales de fonctionnement. Comme dans le cas des systèmes à eau chaude, on peut utiliser un interrupteur thermique pour commander la température de l'eau ou de la vapeur et arrêter l'unité de combustion lorsque des températures excessives ont été atteintes. Cependant, le dispositif de protection le plus souvent utilisé est un interrupteur sensible à la pression (pressostat) qui fonctionne d'une façon similaire, pour arrêter l'unité de combustion lorsque des températures trop élevées sont atteintes.



Protection par thermostat à immersion

Dans un échangeur thermique à air chaud, le nombre de dispositifs de contrôle se trouve fortement réduit. L'unité de combustion est entourée d'une enceinte métallique grâce à laquelle le chauffage est assuré par une circulation d'air. Les divers dispositifs d'alimentation en eau et les systèmes destinés à empêcher l'établissement de trop fortes pressions sont complètement supprimés. En fait, les dispositifs de protection ne sont plus nécessaires; et, d'une manière générale, ils ne sont pas utilisés. L'un des problèmes importants est celui que poserait une défaillance du thermostat de la zone chauffée. Normalement, une panne de ce type se traduirait seulement par une surchauffe du bâtiment, et l'origine de la défaillance serait localisée avant que la chaudière ne soit endommagée. Cependant, une défaillance simultanée du thermostat et du système de circulation d'air pourrait se traduire par une surchauffe de la chaudière, laquelle pourrait éventuellement être endommagée. Pour se prémunir contre ce type de risque, on installe un interrupteur thermo-sensible dans la chambre à circulation d'air qui entoure l'unité de combustion. Si la température s'élève trop, la combustion est arrêtée.



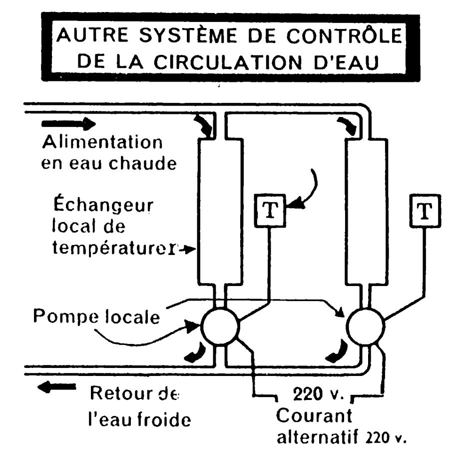
SYSTÈME DE CIRCULATION

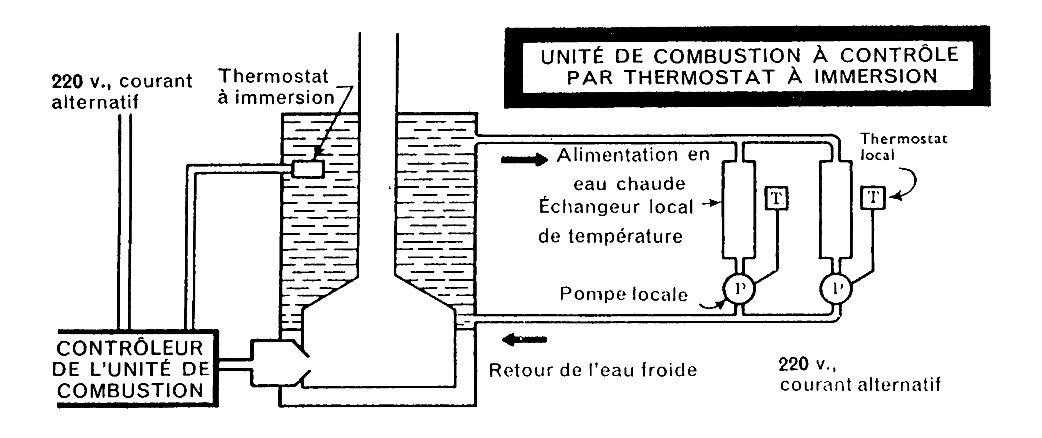
Le schéma montre un système de contrôle complet pour une installation de chauffage à eau chaude. Le fonctionnement de l'unité de combustion et de l'échangeur de température ont déjà été examinés; il s'agit maintenant d'examiner le fonctionnement d'ensemble du système.

Lorsque le système fonctionne, l'eau chaude provenant de l'échangeur de température de la chaudière est transmise aux radiateurs ou autres types d'échangeurs locaux de température; la circulation d'eau est souvent effectuée à l'aide d'une pompe. L'eau abandonne une partie de sa chaleur à l'air du bâtiment, et retourne à l'échangeur thermique. Il est parfois indésirable de laisser fonctionner les radiateurs ou autres types d'échangeurs locaux de température à des températures dépassant 82 à 93°C. Une circulation d'eau moins chaude peut être obtenue en dérivant la plus grande partie de l'eau revenant à l'échangeur thermique, et en la mélangeant avec l'eau très chaude en provenance de l'échangeur de température. La tuyauterie de dérivation et les vannes servant au contrôle du mélange sont représentées en lignes pointillées.

Dans un grand bâtiment, de nombreuses zones différentes doivent être chauffées. Chacune de ces zones peut avoir des pertes de chaleur différentes; de même, les conditions optimales de confort ne sont pas les mêmes pour chacune d'elles. Pour assurer le respect de ces différences, chaque zone est munie de son propre thermostat et de sa propre pompe. Lorsque la température d'une zone donnée descend à un niveau inférieur au niveau voulu, le thermostat met la pompe en marche. Ceci se traduit par une circulation d'eau chaude dans l'échangeur local de température, donc par une élévation de la température de cette zone. Lorsque la température atteint le niveau voulu, la pompe s'arrête. L'eau n'est plus amenée dans les radiateurs, et la température ne s'élève plus. Ainsi, la température de chaque zone est contrôlée par le thermostat de cette zone.

AUTRE SYSTÈME DE CONTRÔLE DE LA CIRCULATION D'EAU

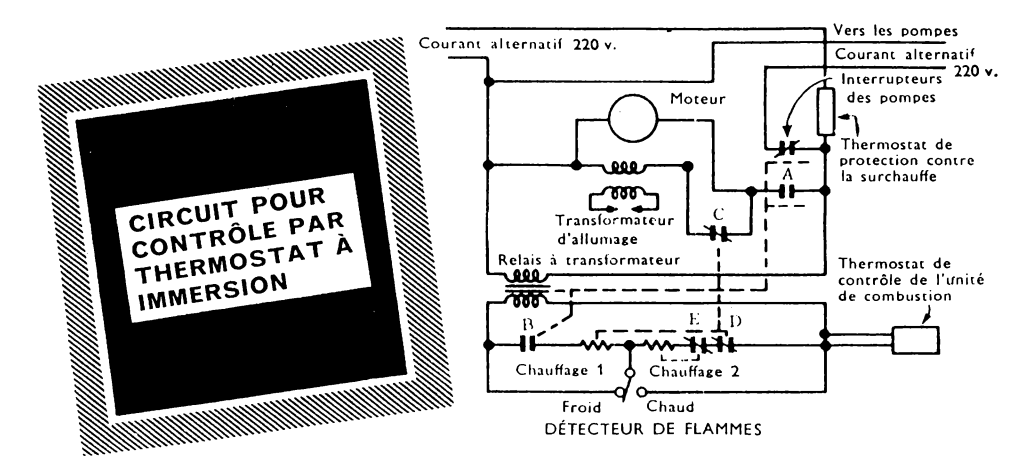




On peut utiliser un autre montage équivalent qui se compose d'une seule pompe d'accélération de grande dimension située sur l'échangeur de température, et de vannes de contrôle indépendantes situées dans chaque zone du bâtiment. Les thermostats locaux ouvrent et ferment les vannes locales, et chaque zone est chauffée selon les besoins.

Tous ces thermostats fonctionnant indépendamment les uns des autres, il serait peu pratique que l'un d'eux commande la marche et l'arrêt de l'unité de combustion. Il est bien plus logique que chaque thermostat local et sa pompe associée tire de l'eau chaude de l'échangeur de température selon ses besoins, et que la commande de la combustion soit assurée par un autre dispositif. La méthode la plus pratique consiste à utiliser un interrupteur thermo-sensible (thermostat à immersion) plongé dans l'eau de la chaudière. Lorsque de grandes quantités d'eau chaude sont tirées de la chaudière par les diverses pompes locales, et que des volumes correspondants d'eau froide lui sont fournis, la température de l'eau de la chaudière commence à baisser. Lorsque la température de la chaudière tombe en-dessous du niveau requis pour permettre un bon chauffage, par exemple 70°C, l'interrupteur immergé met en route l'unité de combustion. L'eau de la chaudière reçoit de la chaleur jusqu'à ce qu'elle atteigne une température de 82 à 93°C ; à ce moment, l'interrupteur thermo-sensible arrête l'unité de combustion. Puisque l'interrupteur immergé protège également contre un échauffement excessif (c'est l'une de ses deux fonctions), il peut être utilisé pour remplacer le thermostat à immersion assurant cette protection contre l'échauffement excessif que nous avons mentionnée lors de l'étude des dispositifs de sécurité des échangeurs thermiques des chaudières.

Un autre système de contrôle est parfois utilisé. Si toutes les pompes du système de chauffage de l'entreprise se trouvaient en marche au même moment, un temps assez long pourrait être nécessaire pour permettre à l'unité de combustion d'amener l'eau au niveau supérieur de température voulu. Les jours de grands froids, la température de l'eau de la chaudière pourrait demeurer bien au-dessous de 70°C pendant des intervalles de temps assez longs. Un fonctionnement à basse température refroidit les parois de la chambre de combustion et l'entrée du conduit d'évacuation de la fumée; ceci se traduit par un dépôt de résidus de fumée sur ces surfaces, et ce dépôt oblige à un nettoyage plus fréquent de la chaudière. Pour remédier à cet inconvénient, on peut utiliser un thermostat placé dans l'eau de la chaudière, ce thermostat à immersion actionnant deux interrupteurs situés dans le contrôleur de l'unité de combustion.



Une paire de contacts provoque l'allumage et l'arrêt de l'unité de combustion, d'après le processus déjà expliqué. L'autre paire de contacts fournit le courant de la ligne d'alimentation aux pompes locales lorsque l'unité de combustion est en position d'arrêt, et interrompt le courant d'alimentation qui n'est plus fourni aux pompes lorsque l'unité de combustion fonctionne. Le thermostat connecté à chaque pompe accélératrice continue à fonctionner suivant le processus déjà examiné, mais le thermostat de l'unité de combustion de l'échangeur central de température peut provoquer l'arrêt de toutes les pompes locales, et ceci même si leurs thermostats les ont mises en position de fonctionnement. Ainsi, ce thermostat empêche la température de l'eau de la chaudière de tomber au-dessous du niveau voulu, et ce en dépit du fonctionnement des thermostats locaux.

De nombreuses méthodes permettent de distribuer de la vapeur dans un bâtiment. La principale caractéristique commune à tous ces systèmes est que la pression de la vapeur conduit celle-ci aux divers radiateurs ou autres échangeurs locaux de température qui se trouvent dans le bâtiment. Lorsque la vapeur abandonne sa chaleur, elle se recondense en eau qui est transmise, soit par gravité, soit par une pompe, à la chaudière de l'échangeur thermique dans laquelle elle est réchauffée.

Lorsque le contrôle de la température d'un bâtiment est assuré au moyen d'un seul thermostat, le système de contrôle est simple; le thermostat met en route et arrête l'unité de combustion. S'il s'agit d'un bâtiment de grandes dimensions alors que diverses zones nécessitent des contrôles de températures indépendants, effectués par thermostats, le système de contrôle ressemble beaucoup à celui utilisé pour le système de chauffage par eau chaude. En ouvrant ou en fermant des vannes actionnées électriquement, les thermostats peuvent contrôler la quantité de vapeur qui atteint les diverses parties du bâtiment.

Dans un système de chauffage à air chaud, le montage de contrôle ressemble également beaucoup à ceux qui ont été décrits pour les systèmes à eau chaude et à vapeur. Dans un système à un seul thermostat, ce dernier assure la mise en route de l'unité de combustion et du ventilateur principal. Si le bâtiment est de grandes dimensions, il est possible d'utiliser plusieurs thermostats. Chaque thermostat contrôle alors, soit un ventilateur, soit un amortisseur actionné électriquement. Un amortisseur est une vanne papillon qui ouvre ou ferme la canalisation d'air chaud. L'utilisation d'amortisseurs s'accompagne de l'emploi d'un ventilateur principal situé à proximité de la chaudière. Dans les systèmes comprenant de nombreux thermostats, l'unité de combustion est mise en marche et arrêtée par un interrupteur thermo-sensible situé dans la double paroi remplie d'air qui entoure la chaudière.

INSTALLATIONS INDUSTRIELLES DE RÉFRIGÉRATION

Vous savez que la réfrigération est un procédé utilisé pour refroidir les produits alimentaires afin d'assurer leur conservation. Vous savez que les réfrigérateurs sont utilisés à la maison, dans les magasins vendant des produits alimentaires et dans les usines de fabrication de ces mêmes produits. La réfrigération est également employée dans l'industrie pharmaceutique, pour la fabrication des antibiotiques tels que la pénicilline, et dans les entreprises fabriquant des éléments en aluminium, pour le processus de refroidissement servant au durcissement de ces pièces. La réfrigération est également utilisée pour les opérations de déshydratation des produits alimentaires et du plasma sanguin, dans la fabrication du caoutchouc et d'une vaste gamme de produits chimiques, ainsi que pour la liquéfaction des gaz, tels que l'oxygène.

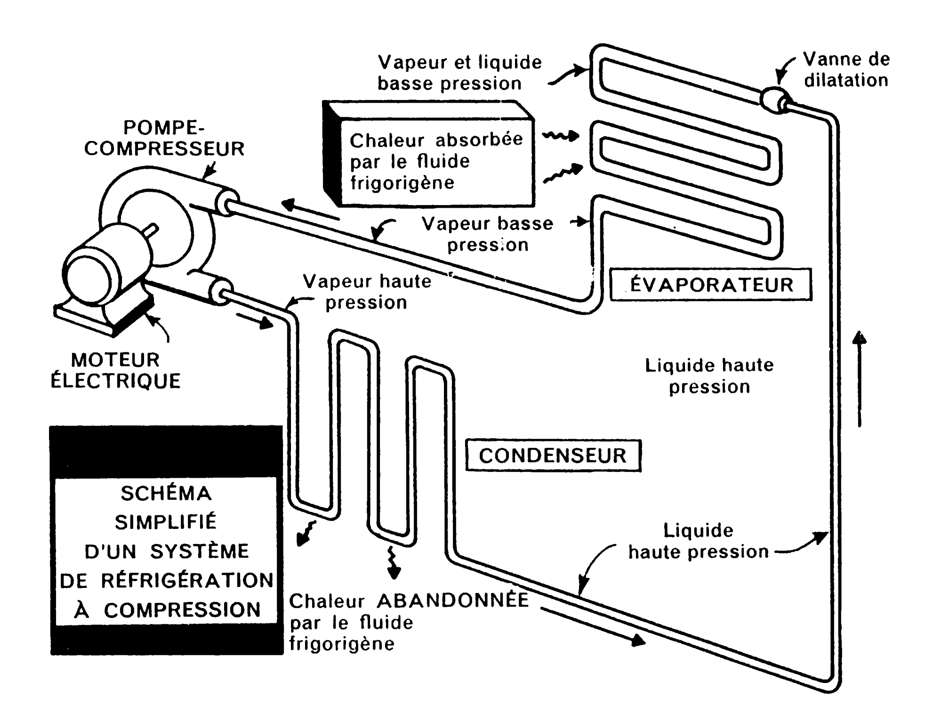
Comme dans le cas du chauffage industriel, les installations industrielles de réfrigération comportent des appareils servant à transférer de la chaleur d'un endroit à un autre. Dans la réfrigération, la chaleur est remplacée par un fluide appelé « fluide frigorigène ». Le fluide froid circule autour du matériau qui doit être refroidi, et il y a échange de température, au cours duquel une partie de la chaleur de la substance à refroidir est transmise au fluide frigorigène..Le fluide, qui est alors légèrement réchauffé, revient au condenseur, et le processus continue.

La plupart des éléments utilisés dans les installations de réfrigération ne sont pas des éléments électriques, et les systèmes électriques de contrôle qui sont mis en œuvre sont assez rudimentaires. En fait, la présente étude des systèmes de réfrigération est essentiellement justifiée par le fait qu'ils sont très largement utilisés et d'une grande importance dans les processus industriels.

Bien qu'il existe de nombreuses méthodes permettant de produire du froid par extraction de chaleur, seules les deux techniques de la compression et de l'absorption sont actuellement utilisées. Ces deux méthodes s'appuient sur le même phénomène physique, à savoir le fait que les liquides absorbent de la chaleur lorsqu'il s'évaporent et se dilatent pour se transformer en vapeur, et que la vapeur abandonne de la chaleur lorsqu'elle est condensée pour redevenir un liquide. Bien que la plupart des liquides, y compris l'eau, puissent être utilisés pour ce processus, les substances réfrigérantes les plus employées sont des gaz qui peuvent être liquéfiés par application d'une pression modérée et d'un léger refroidissement. Le gaz ammoniac est largement utilisé dans les applications industrielles de réfrigération. Il est à la fois peu coûteux et très efficace, mais, du fait de son odeur désagréable et de sa toxicité dangereuse en cas de fuite, il ne peut être utilisé pour le conditionnement d'air ou les réfrigérateurs ménagers. Pour ces applications, on utilise surtout le gaz fréon.

Le système à compression et le système à absorption utilisent tous deux un « évaporateur » dans lequel le gaz liquéfié se détend et absorbe la chaleur, et un « condenseur » dans lequel le gaz est retransformé en liquide et abandonne de la chaleur. La principale différence qui distingue les deux systèmes réside en la méthode utilisée pour transférer le fluide de l'évaporateur au condenseur. Dans le système à absorption, ce transfert est réalisé au moyen d'un processus physique ou chimique; on n'utilise ni pompes, ni organes électriques de contrôle. Dans le système à compression, ce transfert est réalisé au moyen d'une pompe, et des contrôles électriques sont utilisés pour la mise en route de la pompe et des dispositifs auxiliaires.

Le schéma de la page suivante représente le circuit élémentaire d'un système de réfrigération à compression. Vous pouvez voir qu'une pompe est employée pour transférer le fluide vaporisé de l'évaporateur au condenseur. Une pompe à piston, du type que nous avons déjà examiné, peut être utilisée à cet effet lorsque la substance réfrigérante est constituée de gaz ammoniac, de bioxyde de carbone ou de fréon haute pression (Fréon 12).



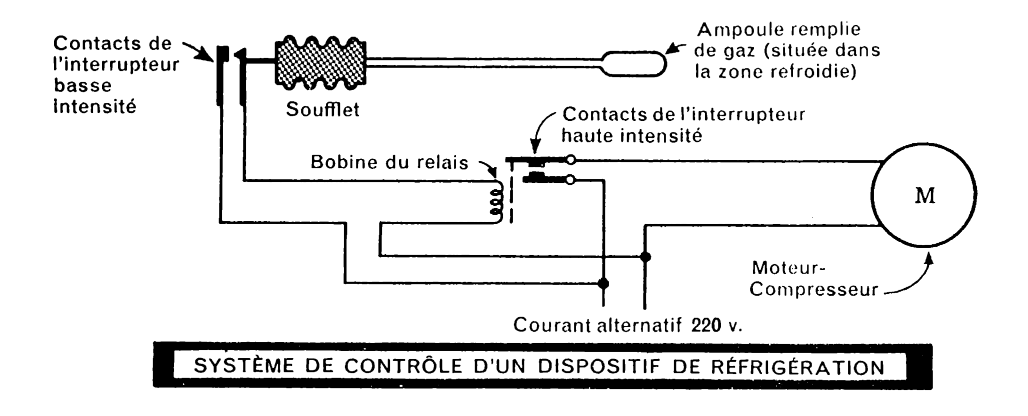
Lorsqu'on utilise du fréon 21 moyenne pression, il faut employer une pompe à palettes tournantes. Si on utilise un fluide frigorigène basse pression, par exemple du fréon 11, on peut utiliser une pompe centrifuge.

La pompe aspire la vapeur qui se trouve dans l'évaporateur et la refoule dans le condenseur. Comme la vanne de dilatation, munie d'une lumière de très petite dimension, ne permet qu'un faible débit **de vapeur** (1), celle-ci est refoulée dans le condenseur plus vite qu'elle ne peut s'en échapper par la lumière de la vanne. Il en résulte que, d'une part, l'intérieur du condenseur est à haute pression, et que, d'autre part, l'intérieur de l'évaporateur est à basse pression.

En réalité, le condenseur est un échangeur de température à haute pression. C'est un long tube qui a été travaillé de façon à prendre une forme très semblable à celle du radiateur d'une voiture automobile, de manière à ce qu'il puisse dissiper la chaleur du fluide frigorigène. Dans les réfrigérateurs ménagers, la circulation normale de l'air assure un bon refroidissement des serpentins du condenseur. Dans les installations industrielles, ce refroidissement est effectué plus efficacement par une alimentation en air comprimé ou en eau. De toutes façons, lorsque la vapeur du fluide frigorigène comprimé est refroidie, elle redevient un liquide et libère encore davantage de chaleur. Le liquide s'accumule dans la partie inférieure du condenseur. Dans les systèmes qui contiennent d'importants volumes de réfrigérant liquéfié, le liquide peut s'écouler dans un réservoir d'accumulation, avant d'être refoulé vers la vanne de dilatation.

Lorsque le liquide franchit la vanne de dilatation, il pénètre dans la zone basse pression. Cette modification de pression provoque la dilatation du liquide qui se vaporise dans l'évaporateur, constitué par un long tube métallique enroulé autour de l'endroit où se trouve le produit à refroidir.

(1) En réalité mélange de vapeur et gaz liquéfié.



SYSTÈME DE CONTRÔLE D'UN DISPOSITIF DE RÉFRIGÉRATION

Bien que sa forme soit quelque peu différente de celle du condenseur, l'évaporateur est aussi essentiellement, un échangeur de température. Dans les chambres froides de grandes dimensions, la forme de l'évaporateur rappelle assez bien celle du radiateur d'une voiture automobile, et l'air de la chambre froide est refroidi au moyen d'un ventilateur électrique qui le refoule entre les serpentins de l'évaporateur. Dans les usines qui fabriquent de la glace, et dans les grands entrepôts frigorifiques, l'évaporateur est plongé dans un réservoir d'eau salée (saumure). Ensuite, la saumure refroidie est refoulée dans un circuit de tuyauteries entourant le ou les produits à refroidir.

Le contrôle électrique des installations de réfrigération est très simple. Le schéma précédent représente un système général de contrôle convenant à la plupart des installations de réfrigération. Un interrupteur thermo-sensible constitue la clef de voûte de ce système de contrôle. Cet interrupteur peut être l'un quelconque des types étudiés précédemment, mais l'un des plus utilisés se compose de l'ampoule à gaz et du soufflet qui apparaissent ci-dessus. Lorsque la température de la chambre froide ou de la saumure s'élève et dépasse le niveau voulu, le gaz qui est à l'intérieur de l'ampoule se dilate suffisamment pour permettre au soufflet de fermer l'interrupteur. Dans les petites installations, l'interrupteur ferme le circuit du moteur électrique qui entraîne le compresseur. Dans les grandes installations où sont employés de gros moteurs, l'interrupteur excite le relais de démarrage du circuit de commande du moteur.

Lorsque le compresseur a démarré, il continue à fonctionner jusqu'à ce que la température de la chambre froide soit revenue au niveau voulu. À ce moment, le gaz contenu dans l'ampoule a diminué de volume, et ceci d'une quantité assez importante pour que le soufflet se contracte et ouvre les contacts de l'interrupteur. Le moteur-compresseur s'arrête, et le système demeure en position d'arrêt jusqu'à ce que la température de la chambre froide s'élève au-dessus du niveau désiré.

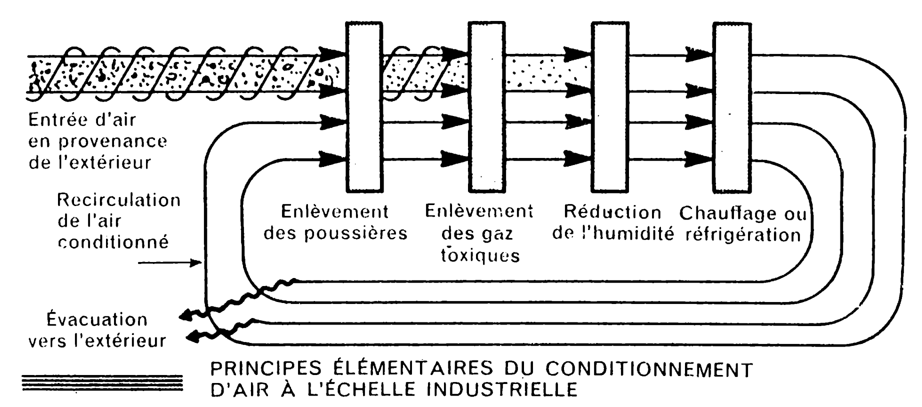
La fermeture de l'interrupteur thermo-sensible fait également fonctionner les dispositifs auxiliaires du système de réfrigération. Ceux-ci comprennent des ventilateurs destinés à assurer la circulation d'un courant d'air froid à l'intérieur de la chambre froide; des appareillages de soufflerie destinés à forcer de l'air de refroidissement dans le condenseur, des vannes électriques de contrôle ou des accélérateurs pour amorcer le flux d'eau de refroidissement sur le condenseur; et des pompes servant à refouler le flux de saumure froide sur les containers des produits à refroidir.

INSTALLATIONS INDUSTRIELLES DE CONDITIONNEMENT D'AIR

De nombreuses personnes croient volontiers, et à tort, que le conditionnement de l'air se réduit tout simplement à un processus consistant à faire circuler de l'air frais dans un bâtiment, afin de rendre ce dernier plus agréable pendant la saison chaude. Bien que le refroidissement de l'air soit une partie importante du conditionnement d'air, il ne constitue pas l'intégralité du processus. Dans la plupart des utilisations industrielles, le conditionnement de l'air comprend le contrôle de la température, de l'humidité et du volume de l'air qui circule dans le bâtiment. Dans d'autres utilisations industrielles, le conditionnement de l'air implique également l'enlèvement du pollen, de la poussière, des bactéries, des odeurs et des gaz toxiques ou vénéneux, qui se trouvent en diffusion. Certains systèmes sont destinés à servir uniquement pendant l'été, mais de plus en plus, les entreprises industrielles sont équipées d'installations qu'elles utilisent toute l'année. En hiver, l'air est réchauffé, et en été, il est refroidi; et toutes les autres fonctions mentionnées sont effectuées le long de l'année. La technique générale du conditionnement d'air consiste à reconditionner et à faire circuler à nouveau de l'air déjà conditionné, tout en introduisant de manière permanente dans le système, un volume suffisant d'air en provenance de l'extérieur, et chasser une partie de l'air qui a recirculé. On assure ainsi la conservation d'une teneur suffisante en oxygène, et une évacuation de l'oxyde de carbone ou du gaz carbonique en excès.

Dans les grandes installations industrielles, le chauffage et le refroidissement de l'air sont effectués par les procédés que vous avez étudié dans les premières pages de la présente section, consacrées aux systèmes de chauffage et de réfrigération. Dans les autres installations, des bureaux individuels, des laboratoires ou des zones de travail particulières peuvent être équipés d'une unité de conditionnement indépendante qui, à l'exception du chauffage, assure l'exécution de la plupart des autres fonctions désirées.

L'humidité est un facteur très important pour la détermination du confort physique d'une zone de travail. L'humidité est habituellement exprimée par un « pourcentage d'humidité relative » qui est égal au poids de la vapeur d'eau contenue dans un mètre cube d'air divisé par le poids de la vapeur d'eau que contiendrait un mètre cube d'air complètement saturé et maintenu à la même température. Des enquêtes ont montré que des températures intérieures de l'ordre de 23 à 26 °C, accompagnées d'une humidité relative variant entre 55 et 45 %, sont considérées comme confortables. Une ambiance agréable peut également être obtenue à des températures plus élevées accompagnées d'une humidité relative plus faible, mais on considère qu'il est plus pratique de réduire la température de l'air plutôt que d'essayer d'amener le pourcentage d'humidité relative à des valeurs inférieures à 45 %.



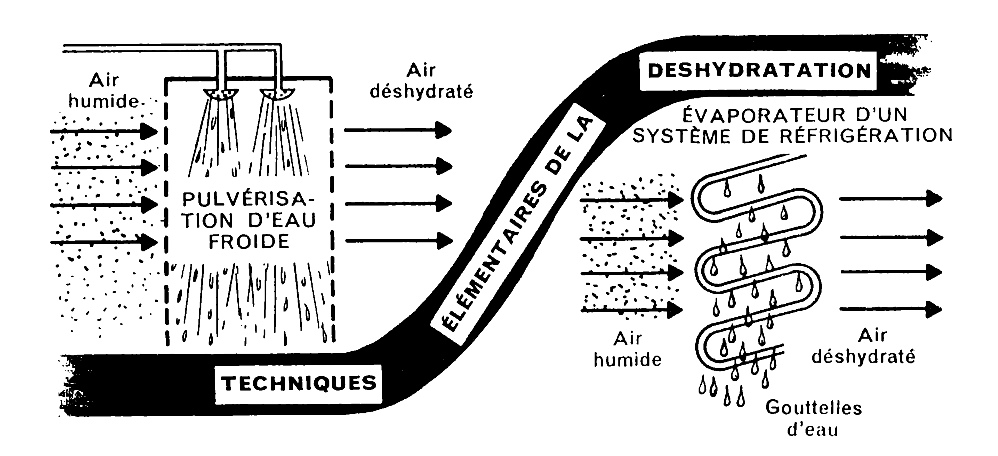
PRINCIPES ÉLÉMENTAIRES DU CONDITIONNEMENT D'AIR À L'ÉCHELLE INDUSTRIELLE

Il est possible de déshydrater l'air en le refroidissant à une température inférieure à la température voulue, et en le laissant ensuite se réchauffer pour atteindre la température désirée. Ceci résulte du fait que l'air chaud peut contenir davantage de vapeur d'eau que l'air froid. Ainsi, lorsque l'air est suffisamment refroidi, il ne peut plus contenir un pourcentage d'humidité aussi important que celui qu'il comportait précédemment. L'humidité en excès se condense sous forme de gouttelettes d'eau, et lorsque la température de l'air s'élève, celui-ci est fortement déshydraté.

Dans les installations industrielles, la déshydratation est effectuée suivant deux méthodes. La première méthode consiste à faire passer l'air dans une pièce qui est continuellement traversée par une fine pulvérisation d'eau froide. Cette eau est normalement refroidie à l'aide des techniques habituelles de réfrigération, et elle est constamment réutilisée dans un même circuit (à l'exception, toutefois, des cas où l'on dispose d'importantes quantités d'eau froide en provenance d'un puits ou d'une source locale). L'un des avantages de cette méthode est le fait que la pulvérisation d'eau assure l'enlèvement de nombreuses particules solides et de certaines matières toxiques qui peuvent être contenues dans l'air. Dans la seconde méthode de déshydratation, l'air est refoulé dans l'évaporateur d'un système de réfrigération, ou dans une unité similaire, qui est traversée par un courant de saumure dont la circulation est assurée par une pompe.

Notez que, d'une manière générale, la déshydratation est seulement nécessaire pendant l'été. En hiver, l'air extérieur est froid et son humidité est assez basse. Lorsque cet air est chauffé, son humidité devient souvent trop faible pour satisfaire aux exigences de confort indiquées, et elle est également trop faible pour convenir à certaines utilisations industrielles, telles que la fabrication des textiles. Dans ces cas, l'air est généralement refoulé dans une chambre de pulvérisation où il pourra absorber un peu d'humidité.

Alors que l'hydratation et la déshydratation conviennent à la plupart des utilisations industrielles, pendant l'été et l'hiver, il existe certaines applications pour lesquelles un contrôle précis de l'humidité est nécessaire de manière permanente. Il en est ainsi pour les laboratoires de physique, de chimie et de biologie, ainsi que pour les « pièces blanches » extrêmement propres utilisées dans certaines Industries, qui effectuent des fabrications, des assemblages et des essais de haute précision.

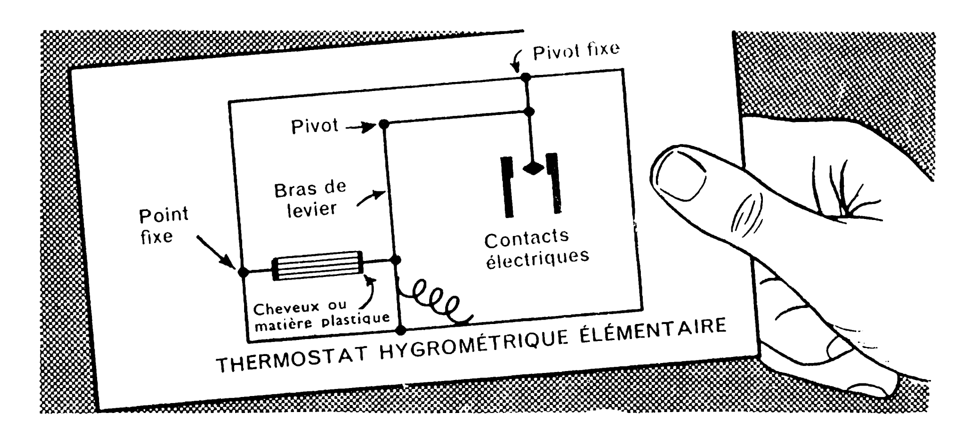


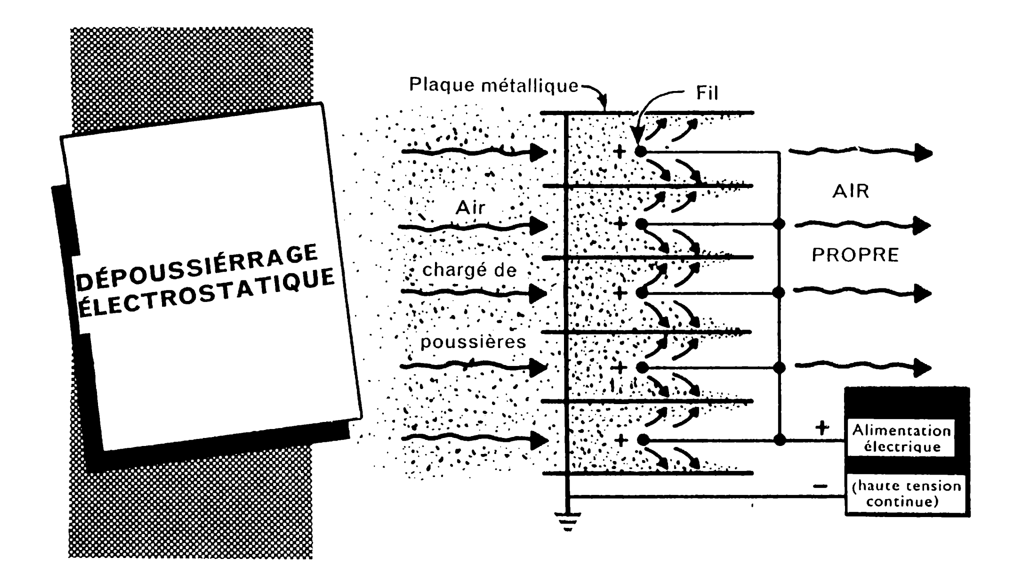
Une des méthodes les plus simples et les plus sûres pour permettre le contrôle de l'humidité est le thermostat hygrométrique à fibre. Le fonctionnement de ce dispositif est basé sur le fait que certaines matières plastiques, fibres végétales et soie (et tout particulièrement les cheveux blonds), se dilatent lorsqu'ils sont humides et se contractent lorsqu'ils sont secs. Une des extrémités de la fibre est attachée à un point fixe, et son autre extrémité est reliée au bras d'un levier tendu par un léger ressort destiné à présenter une certaine résistance à la dilatation et à la contraction de la fibre. L'extrémité libre du levier est munie d'un petit contact électrique, et l'autre contact du dispositif est monté sur un isolateur. Le mécanisme peut être réglé de manière que les contacts se ferment lorsque l'humidité est inférieure ou supérieure au niveau recherché. Il est possible de réaliser un mécanisme disposant de deux paires de contacts de manière qu'un excès ou une insuffisance d'humidité se traduisent par la fermeture d'une des paires de contacts de contrôle. La fermeture des contacts assure l'excitation de la bobine d'un relais qui met en marche l'équipement d'hydratation ou de déshydratation.

Lorsque les problèmes de contrôle de la température et de l'humidité de l'air ont été résolus, le dernier problème du conditionnement de l'air est celui de l'enlèvement de la poussière et des gaz toxiques. Les humidificateurs à pulvérisation peuvent être utilisés pour l'enlèvement de la plus grande partie des poussières, mais ils ne sont pas toujours employés, car il est des cas où leur efficacité est insuffisante.

Les filtres sont un moyen efficace et économique pour l'enlèvement des petites particules solides qui se trouvent dans l'air. Le filtre le plus simple se compose d'une unité plate de grandes dimensions placée dans le flux d'air. Cette unité comprend un écran métallique qui contient un entassement compact de fibres végétales, de fibres de verre et de matières plastiques. Lorsque l'air passe entre les fibres qui sont étroitement entrelacées, les particules solides sont arrêtées, et seul l'air propre traverse entièrement le filtre. Cependant, ce type de filtre s'accompagne d'un inconvénient d'utilisation : lorsque de nombreuses particules de poussière ont été retenues par son action, les espaces libres entre les fibres se trouvent remplis, et la circulation de l'air en est fortement ralentie ou est même arrêtée. Il en résulte que des nouveaux filtres doivent être fréquemment installés pour remplacer ceux qui n'assurent plus leur fonction convenablement.

Un autre type de filtre est constitué par une enceinte contenant des fils métalliques ou brins qui sont entassés et enduits d'huile. La poussière adhère à l'huile, et le filtre peut être enlevé, nettoyé, recevoir une nouvelle quantité d'huile, et réutilisé. Dans les zones très poussiéreuses, un moteur électrique peut être utilisé pour entraîner un système qui déplace un filtre en forme de bande continue dans le trajet du flux d'air; certaines parties assurant le filtrage alors que d'autres sont simultanément nettoyées et regarnies d'huile.





On dispose également de méthodes électriques qui permettent l'enlèvement des plus petites particules se trouvant dans l'air. La méthode générale s'appelle le « dépoussiérage électrostatique » et les techniques spécifiques varient grandement d'un constructeur d'équipement à un autre. Cette méthode est basée sur le fait que les particules contenues dans l'air ou la fumée peuvent être chargées électriquement à la suite d'un passage dans un champ électrique. Lorsque ces particules sont chargées, elles sont attirées et extraites du flux d'air par des surfaces métalliques de charge contraire à celle des particules. Les particules adhèrent au métal; leur enlèvement est effectué périodiquement par lavage ou grattage.

Les tensions continues nécessaires à l'application de ce procédé varient entre 15 000 et 100 000 volts, selon les caractéristiques de la poussière ou de la fumée, et selon le volume d'air qui doit être soumis à ce traitement. Ces tensions sont obtenues à l'aide d'un transformateur élévateur qui amène la tension de la ligne d'alimentation au niveau voulu, et par des redresseurs (voir L'ÉLECTRONIQUE, volume 1) qui transforment la tension alternative en tension continue.

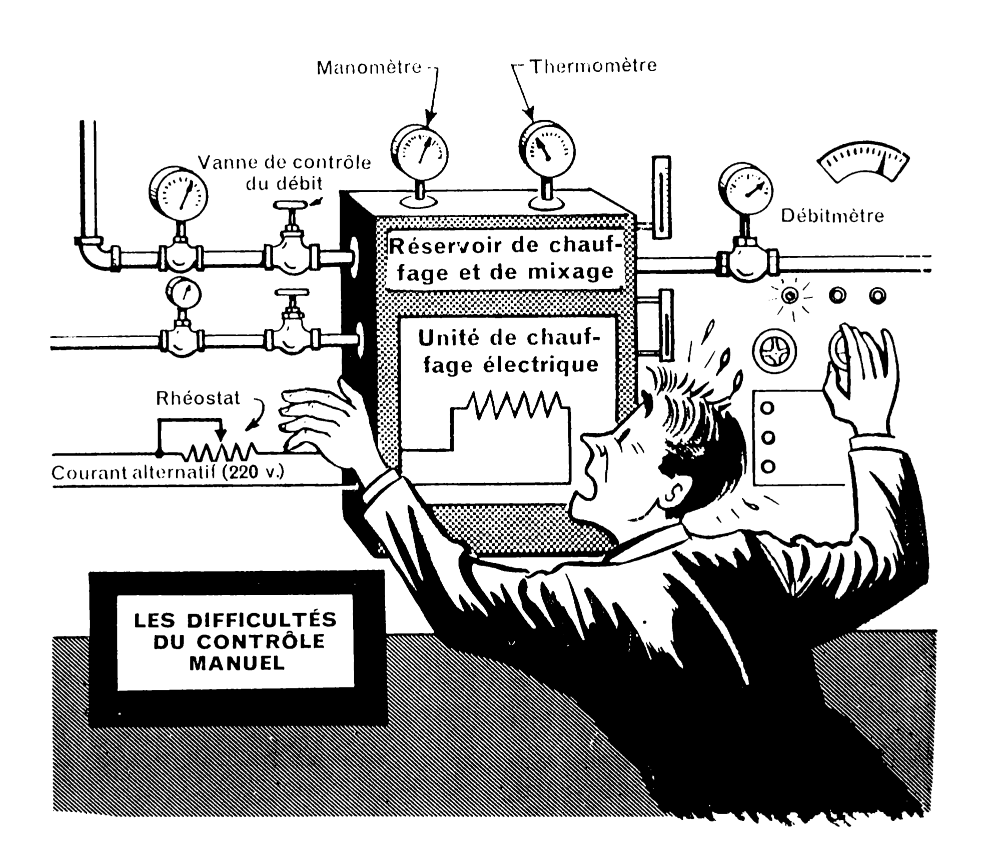
En général, les particules de poussière ou de fumée peuvent être indifféremment chargées positivement ou négativement. La sortie du redresseur qui a la polarité continue voulue est connectée à un ou plusieurs fils de faible diamètre qui sont suspendus à l'intérieur de cylindres métalliques ou entre des plaques métalliques. Les cylindres ou les plaques sont mis à la masse, et l'autre borne de sortie du redresseur est également mise à la masse, assurant ainsi une protection contre les décharges électriques dangereuses. Les particules de poussière ou de fumée qui passent entre les fils et les parois qui les entourent acquièrent une charge électrique identique à celle des fils, car le champ électrique le plus intense est celui qui entoure les fils. En conséquence, les particules sont attirées par les vastes parois qui entourent ces fils, elles adhèrent à ces parois, et leur enlèvement se fait alors de manière périodique.

Pour éliminer les gaz toxiques qui sont dans l'air, ce dernier doit passer à travers des filtres chimiques. Ces filtres peuvent contenir des solides ou des liquides; l'ingrédient spécifique dépend du type de gaz qui doit être extrait.

INSTALLATIONS INDUSTRIELLES DE TRAITEMENT DES GAZ ET DES LIQUIDES

On utilise une vaste gamme de systèmes de traitement des gaz et des liquides. La fabrication de milliers de produits alimentaires, industriels, chimiques et pharmaceutiques exige l'utilisation de systèmes de traitement des gaz et des liquides. La plupart de ces processus sont très différents les uns des autres et doivent impliquer des fonctions chimiques et physiques fort complexes, qui ne peuvent être bien comprises que par les chimistes et ingénieurs de fabrication. Au lieu d'essayer de résumer les processus physiques et chimiques de ce vaste domaine, l'exposé sera consacré à une vue d'ensemble des principes du contrôle électrique appliqués dans ces systèmes

La plus grande partie des traitements des liquides et des gaz impliquent une méthode permettant de contrôler la fonction exécutée, de telle manière que le produit résultant possède les caractéristiques voulues. La méthode la plus simple consiste en un examen continuel du produit résultant; ce travail est accompli par un ou plusieurs employés qui règlent d'une part le débit des éléments qui vont composer le produit et d'autre part les conditions du traitement, de manière à corriger toute tendance indésirable. La précision avec laquelle ces hommes contrôleront le produit résultant dépend principalement de la vitesse et de l'exactitude avec laquelle ils peuvent corriger le débit des éléments qui vont composer le produit fini et les conditions du traitement. Le contrôle manuel de ces processus est démodé; chaque fois qu'il se révèle pratique, on utilise le contrôle automatique.

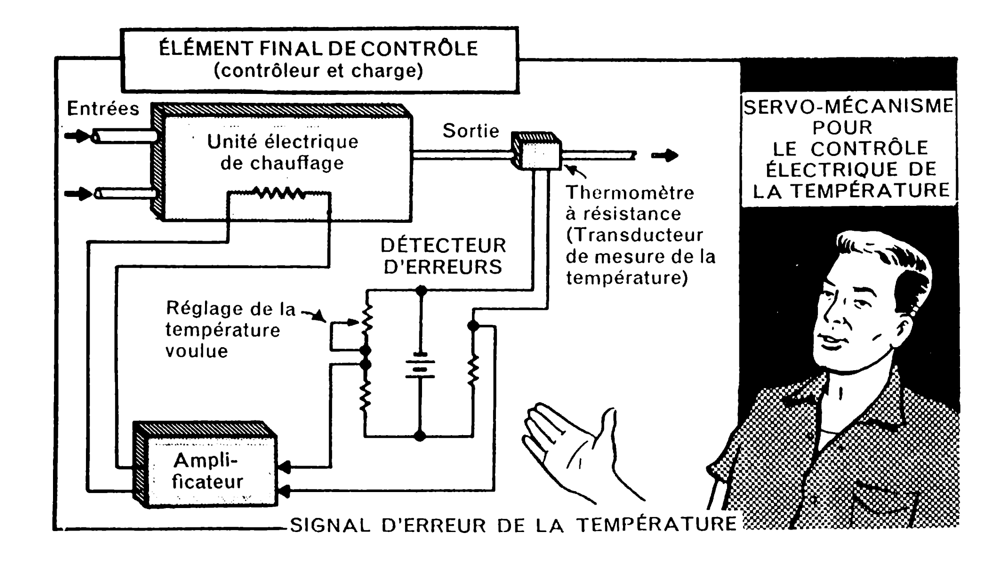


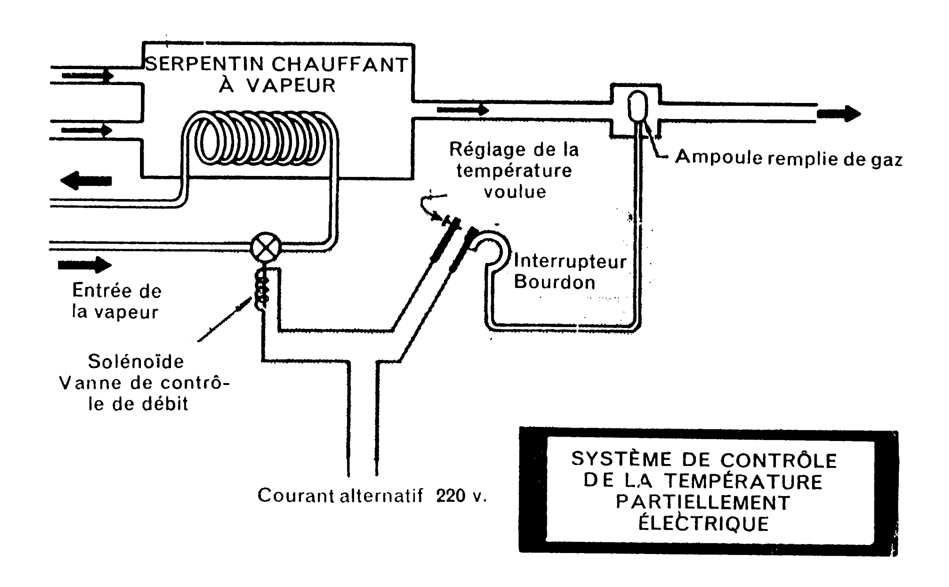
Tout ce que vous avez appris au sujet des servo-mécanismes électromécaniques peut être appliqué aux systèmes de traitement des gaz et des liquides à contrôle automatique. En dépit de petites différences de terminologie et de connexions, les principes élémentaires sont exactement les mêmes que ceux que vous avez étudiés dans la section relative aux servo-mécanismes de commande.

Le schéma représente les éléments de base d'un système automatique de traitement des gaz ou des liquides. Il est important de noter que la boucle de contrôle sert uniquement pour la partie du processus afférente au contrôle de la température. Le processus complet peut être le mélange de plusieurs liquides ou gaz dans des conditions bien déterminées de température et de pression. Aussi, il peut être nécessaire de disposer de plusieurs boucles de contrôle indépendantes permettant de contrôler le volume de chaque gaz ou liquide traité, la pression, la température, et éventuellement la vitesse de l'opération de mélange. En conséquence, un schéma de l'ensemble du système de traitement comprendrait au moins cinq boucles, ayant chacune un aspect semblable à celle qui apparaît sur le schéma.

Supposez que le processus consiste à effectuer le mélange de liquides et de gaz, dans des conditions déterminées de température et de pression. L'opération de mélange peut être faite par une palette actionnée par un moteur électrique, cette palette se trouvant alors dans le récipient où est effectuée l'opération de mélange. Elle peut aussi être exécutée à l'aide d'un dispositif électromécanique qui fait vibrer ou tourner le réservoir de mixage. La chaleur peut être fournie par une résistance chauffante, par un serpentin métallique parcouru par de la vapeur ou un liquide chaud, ou par d'autres systèmes.

Dans la boucle de contrôle du schéma, le transducteur pourrait être un thermomètre à résistance, un thermocouple, ou n'importe lequel des autres dispositifs de mesure de la température qui ont été examinés au cours des sections antérieures de ce cours. Certains de ces dispositifs peuvent comporter une unité amplificatrice destinée à porter les signaux du transducteur à un niveau utilisable. Le type choisi dépend de la gamme de température et des exigences du réalisateur en ce qui concerne un contrôle de la température marche-arrêt ou bien proportionnel. De plus, le transducteur de température peut être placé dans l'unité de traitement ou dans la canalisation de sortie du produit, selon ce que l'on désire contrôler.





Le détecteur d'erreurs peut être l'un de ceux qui ont été envisagés dans le cadre de la section relative aux servo-mécanismes électromécaniques. Il est destiné à recevoir le signal électrique émis par le transducteur de mesure de la température, à le comparer à la température voulue, et à produire un signal de sortie proportionnel à la différence existant entre la condition réelle et celle qui est désirée. En général, cette condition de référence est réglée à une valeur fixe dans le détecteur d'erreurs; elle peut cependant être une valeur variable, comme vous avez pu l'apprendre lors de votre étude des servo-mécanismes.

Il est cependant un fait que vous devez bien comprendre : tout ou partie du circuit de contrôle et de la charge peuvent être construits de façon à ne former qu'une seule unité. En voici un exemple : la vanne à solénoïde, dans laquelle le solénoïde est le contrôleur, et la partie de la vanne servant à ouvrir ou à fermer le passage du fluide constitue la charge. Dans les systèmes de contrôle automatique de processus, un dispositif de ce type s'appelle « élément final de contrôle ».

Un autre point qui ne doit pas constituer une source de confusions est le fait qu'une partie du contrôleur et du transducteur peuvent être intégrés dans le détecteur d'erreurs. Le thermostat est un exemple connu de ce type de dispositif. La lame bimétal est un transducteur qui transforme la température en un mouvement mécanique capable d'effectuer la fermeture des éléments de l'interrupteur. Un autre exemple, un peu moins connu, est le manomètre de Bourdon, dont la partie mobile ferme un interrupteur, règle un potentiomètre, ou assure le fonctionnement d'une vanne placée sur une tuyauterie d'air comprimé utilisée pour actionner une autre vanne.

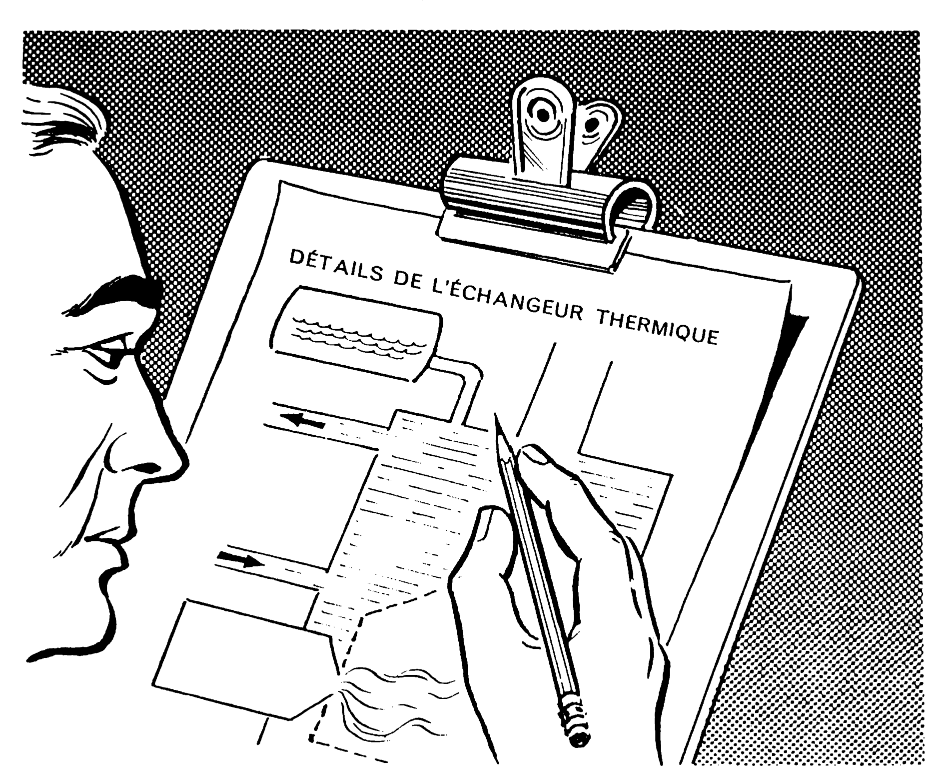
Il existe de nombreux dispositifs de contrôle de processus qui peuvent contenir plusieurs éléments du servo-mécanisme de contrôle. Si vous vous souvenez que tout servo-mécanisme doit comprendre un détecteur d'erreurs, un circuit de contrôle et une charge, vous pourrez repérer l'endroit du système où ces fonctions sont effectuées.

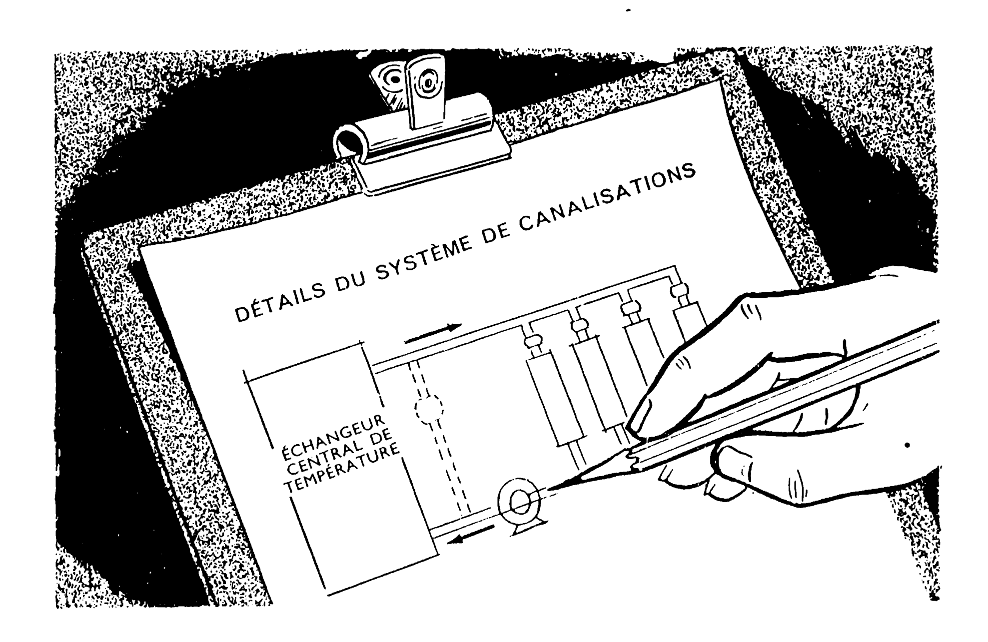
TRAVAUX PRATIQUES — INSTALLATIONS INDUSTRIELLES DE CONTRÔLE DES FLUIDES

Le but de ce travail pratique est de vous montrer les principales caractéristiques de la construction et du fonctionnement des installations industrielles de chauffage, de réfrigération et de conditionnement d'air. Du fait que des installations industrielles de ce type ne peuvent être transportées dans des laboratoires ou des salles d'étude, votre instructeur ou vous-même devrez prendre des dispositions pour visiter une ou plusieurs entreprises industrielles locales comportant ces équipements.

Lorsque vous examinez une installation industrielle de chauffage, commencez par envisager l'ensemble de l'installation, de façon à vous faire une idée des dimensions et de la disposition générale du système. Dessinez rapidement un schéma de la disposition générale, et des schémas distincts qui montreront les détails qui figurent dans les paragraphes suivants.

Ensuite, recommencez votre examen en vous attaquant d'abord à la chaudière. Vérifiez les caractéristiques de l'unité de combustion; voyez si elle brûle du charbon, du coke, du mazout ou du gaz; examinez les dispositifs utilisés pour amener le combustible à l'unité de combustion; vérifiez les détails du système de sécurité et de contrôle; observez le fonctionnement de l'unité de combustion. Maintenant, passez à l'échangeur de température; voyez si l'échange se fait par l'intermédiaire d'eau, de vapeur ou d'air; voyez comment le liquide échangeur pénètre et quitte la région de combustion; et enfin, examinez les détails du système de sécurité et de contrôle.





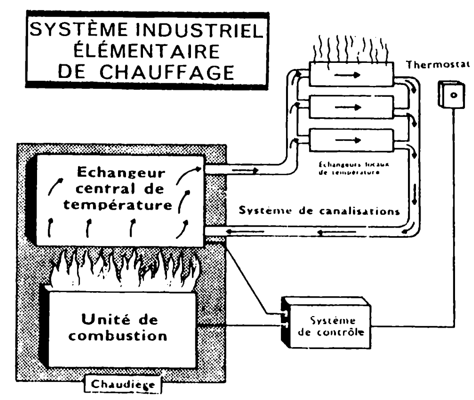
Lorsque vous examinez les détails des canalisations du système de chauffage, commencez par observer les montages utilisés pour la conduite du fluide dans le circuit. Ensuite, localisez et identifiez les tuyaux ou canalisations, grands ou petits, qui transmettent le fluide aux échangeurs locaux de température, et le ramènent ensuite à la chaudière. Vous devez également examiner les caractéristiques des échangeurs locaux de température. Pour achever votre étude de l'installation de chauffage, étudiez attentivement le système de contrôle, et ensuite, en élevant ou en diminuant le réglage d'un des thermostats locaux, observez un cycle complet de contrôle de la température.

Votre étude d'une installation industrielle de réfrigération doit suivre les grandes lignes de l'exposé précédent. Faites un schéma de la disposition générale du système; ce schéma devra en montrer les principaux composants. Repérez et identifiez le compresseur, le condenseur, la vanne de dilatation et l'évaporateur. Examinez les montages tels que les ventilateurs ou systèmes de canalisations servant à la circulation de la saumure froide pour la réfrigération de zones éloignées de l'évaporateur. En dernier lieu, examinez le système de contrôle et le thermostat, et augmentez ou diminuez le niveau de réglage du thermostat de manière à pouvoir observer le cycle de fonctionnement et d'arrêt du circuit.

L'examen d'une installation industrielle de conditionnement d'air peut être conduit dans le même esprit. Faites un schéma montrant les positions des principaux éléments de l'installation. Repérez et identifiez les divers dispositifs utilisés pour le chauffage et le refroidissement de l'air dans le bâtiment. Examinez ensuite les détails des systèmes de déshydratation de l'air ainsi que de tous les systèmes de contrôle utilisés pour superviser ou régler l'humidité de l'air de façon permanente. Identifiez les divers éléments de l'appareil de filtrage, et, en dernier lieu, étudiez le système de contrôle et observez son fonctionnement.

INSTALLATIONS INDUSTRIELLES DE CONTRÔLE DES FLUIDES — RÉVISION

INSTALLATIONS DE CHAUFFAGE — Dans un système type, la chaudière contient une unité de combustion qui brûle un combustible, et un échangeur central de température qui conduit le fluide à chauffer à proximité du combustible qui se consume. Le système de canalisations transmet le fluide chauffé aux échangeurs locaux de température des zones à réchauffer, et le fluide refroidi est alors renvoyé vers l'échangeur thermique central. Un système de contrôle surveille la sécurité des opérations de combustion, empêche l'établissement de températures et de pressions excessives, et assure le chauffage local à l'endroit et au moment voulus.



INSTALLATIONS DE RÉFRIGÉRATION — Dans une installation industrielle typique de réfrigération par compression de vapeur, une pompe comprime un gaz dans un condenseur où il est liquéfié et où il abandonne de la chaleur. Le liquide refroidi est refoulé à travers une petite vanne qui se trouve à l'entrée d'un évaporateur; vanne dans laquelle il se dilate pour prendre la forme d'un gaz et où il absorbe de la chaleur. Un interrupteur thermique assure la mise en route et l'arrêt du moteur de la pompe, permettant ainsi, de conserver la température choisie.

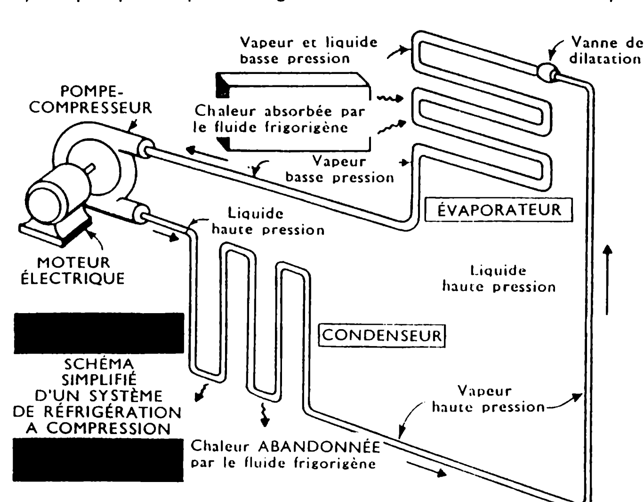
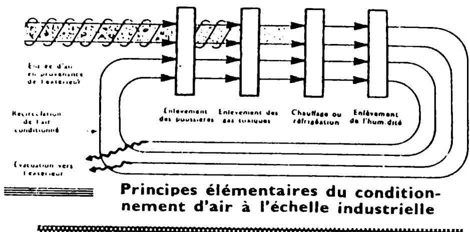


SCHÉMA SIMPLIFIÉ D'UN SYSTÈME DE RÉFRIGÉRATION A COMPRESSION

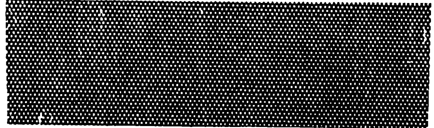
INSTALLATIONS DE CONDITIONNEMENT D'AIR — Un système complet de conditionnement d'air assure le contrôle de la température, de l'humidité, de la circulation et du degré de pureté de l'air dans un bâtiment.

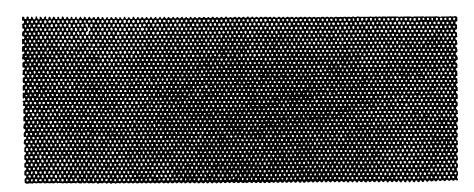
Les méthodes de chauffage et de réfrigération ont déjà été décrites. La déshydratation de l'air est obtenue par suite du refroidissement de l'air et de la condensation de sa vapeur d'eau. Des filtres chimiques sont utilisés pour l'enlèvement des gaz toxiques, et des filtres mécaniques sont normalement utilisés pour l'enlèvement des particules solides.

Dans le système électrostatique, les particules solides reçoivent une charge lors de leur passage à travers un champ électrique. Elles sont ensuite extraites de l'air par l'attraction excercée par des plaques de charges opposées.

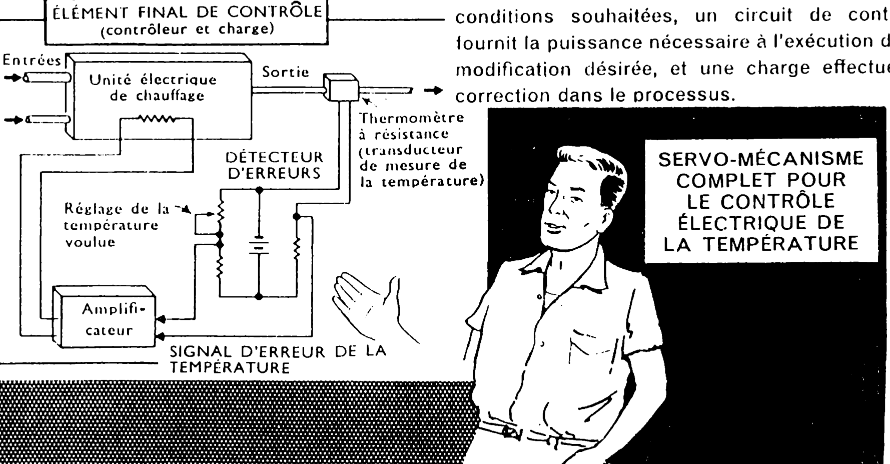


Principes élémentaires du conditionnement d'air à l'échelle industrielle



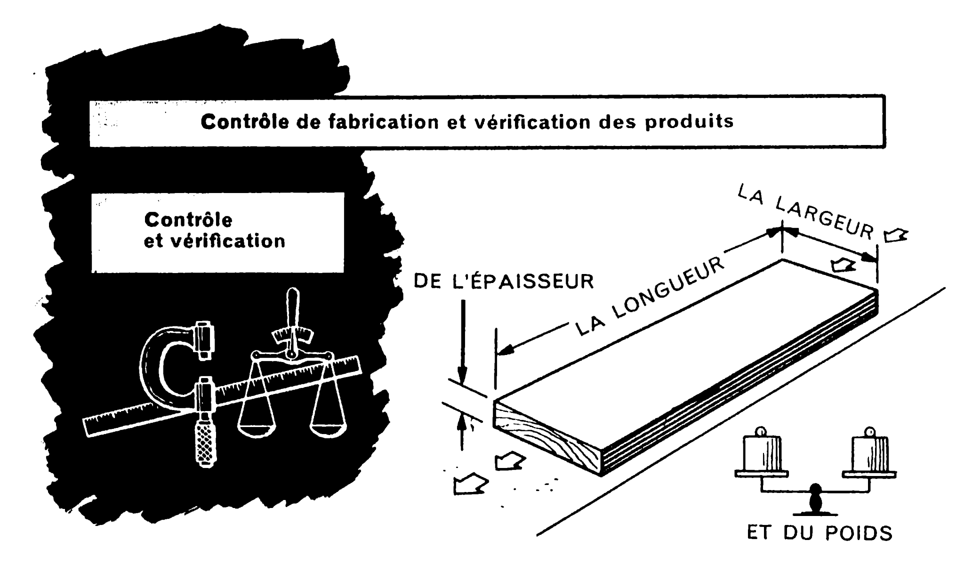


INSTALLATIONS DE TRAITEMENT DES LIQUIDES ET DES GAZ— Chaque caractéristique importante du fonctionnement du système est contrôlée par une servo-boucle distincte. Dans chaque boucle, un transducteur mesure la caractéristique spécifique du processus, un détecteur d'erreurs produit un signal proportionnel à la différence entre les conditions réelles et les conditions souhaitées, un circuit de contrôle fournit la puissance nécessaire à l'exécution de la modification désirée, et une charge effectue la correction dans le processus.



CONTRÔLE DE FABRICATION ET VÉRIFICATION DES PRODUITS

INTRODUCTION



Dans les sections 4, 5, 6 et 7, vous avez appris les principes fondamentaux du contrôle des machines électromécaniques, des servo-mécanismes électromécaniques, des dispositifs et systèmes de contrôle des fluides. Vous avez également étudié le fonctionnement des transducteurs électriques élémentaires, ainsi que des exemples de leurs utilisations dans l'industrie.

Le fait que l'on vous ait présenté de nombreux circuits industriels de contrôle différents et relativement complexes ne doit pas vous conduire à penser qu'il reste peu de choses à étudier dans le domaine du contrôle électrique des processus industriels. Sans aucune exagération, on peut dire que, de nos jours, des milliers de dispositifs de contrôle industriels différents sont utilisés. Heureusement, ils peuvent être classés en un nombre relativement peu élevé de familles à l'intérieur desquelles les dispositifs ont tous le même but fondamental, et ne diffèrent qu'en ce qui concerne des détails.

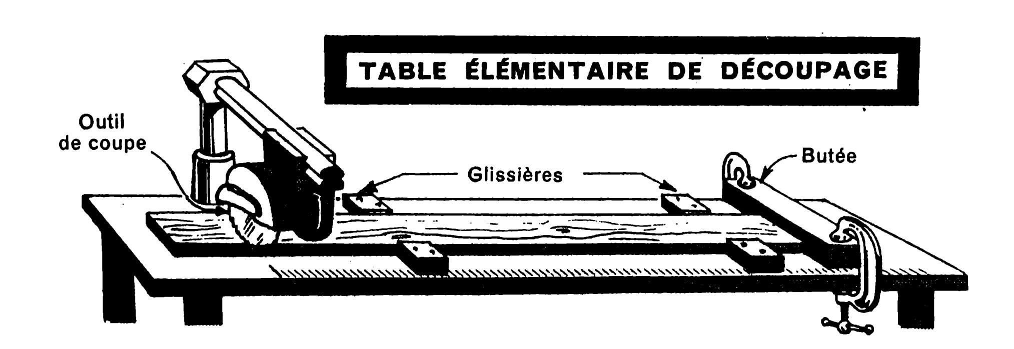
Les industries qui ont pour but la production de matériaux et de produits finis sont principalement intéressées par la mesure et la vérification de certaines caractéristiques de ces produits. Ces caractéristiques sont entre autres la longueur, la largeur, l'épaisseur, la forme et le poids. Cette section va vous permettre de faire la connaissance des techniques électriques élémentaires qui sont utilisées pour l'inspection des produits, afin de déterminer s'ils possèdent effectivement les caractéristiques souhaitées et, si ce n'est pas le cas, d'assurer le réglage du processus de fabrication afin que les produits répondent bien aux caractéristiques énoncées. La plus grande partie de la présente section sera consacrée à la vérification et au contrôle des fabrications d'objets solides de dimensions et de forme spécifiques; cependant, quelques informations seront données sur la vérification des matériaux bruts. Vous connaissez déjà les servo-mécanismes et transducteurs élémentaires utilisés à ces fins. Notez que les techniques qui seront envisagées sont de nature essentiellement électrique et dotées d'une précision qui les rend adéquates pour une utilisation dans le cadre d'une production massive d'objets de grandes dimensions. Pour le contrôle de fabrication et l'inspection des pièces de précision ou de petite taille, les techniques employées sont presque entièrement électroniques, et elles font l'objet d'un autre cours.

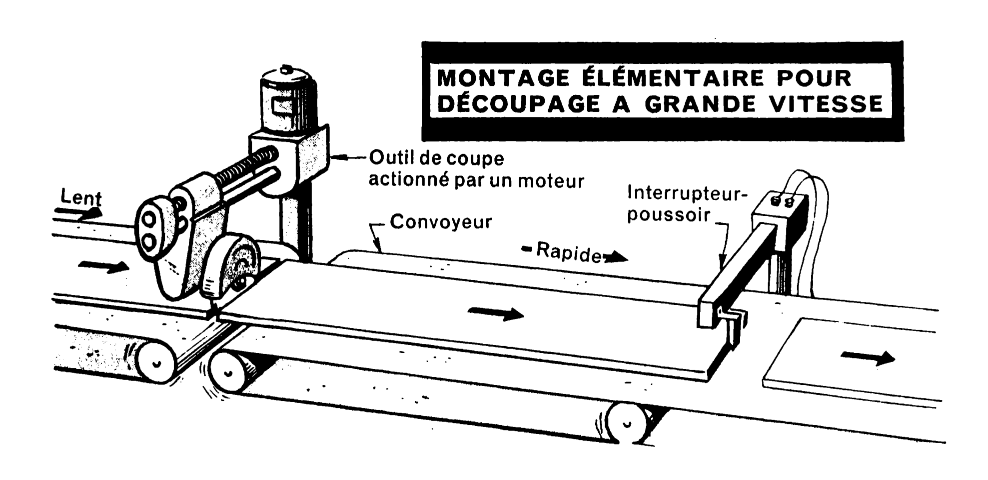
INSPECTION ET CONTRÔLE DE LA LONGUEUR DU PRODUIT

Dans la production de barres, tubes, câbles, tôles, rails, poutres et éléments structuraux, le produit est fabriqué en grandes longueurs continues; il est généralement vendu dans une gamme de dimensions standard. Ceci est dû au fait que la plupart des acheteurs de ces produits prévoient leur production sur la base des longueurs normalisées, au lieu de s'engager dans des opérations de coupe à grande échelle. De ce fait, il existe un accord tacite réciproque aux termes duquel le fabricant livre les longueurs les plus demandées, et l'acheteur établit sa propre production d'après les normes ainsi établies. La plupart des fabricants fournissent des longueurs spéciales à des prix plus élevés; le coût supplémentaire décroît en proportion de l'importance de la commande spéciale.

Pour obtenir une longueur standard dans un matériau, la méthode la plus élémentaire consiste à utiliser un opérateur humain muni d'une règle avec laquelle il mesure la longueur voulue et qui, ensuite, utilise un outil pour couper le matériau à la longueur désirée. Bien que cette technique soit encore largement employée pour les fabrications en petite quantité, elle est beaucoup trop lente et coûteuse pour pouvoir servir à une production de masse.

Pour accroître la vitesse de cette opération, le procédé le plus simple est de mettre en œuvre une table de coupe. Il s'agit d'une table plate équipée d'un outil de coupe à tracé fixe, d'un jeu de glissières, et d'une butée. La butée est placée de façon que la distance qui la sépare du tranchant de l'outil de coupe soit égale à la longueur désirée. Lorsqu'on utilise cette table, le matériau est placé entre les glissières et poussé jusqu'à ce qu'il atteigne la butée, l'outil de coupe est mis en marche et dirigé sur son tracé; on réalise ainsi le découpage à la longueur voulue. La longueur coupée est retirée de la table et le processus recommence. Cette méthode présente deux avantages : sa précision et sa souplesse. L'outil de coupe étant monté sur un chemin, l'intervalle qui le sépare de la butée ne peut changer. La distance entre la butée et le bord coupant peut être réglée avec toute la précision voulue, et cette précision est conservée jusqu'à ce qu'elle soit diminuée par l'usure de la butée, de l'arête coupante ou du mécanisme de guidage de l'outil de coupe. Ce dernier n'est pas actionné par un opérateur; en effet, un cycle complet de fonctionnement est facilement mécanisé, et son démarrage peut se faire à l'aide d'un interrupteur-poussoir monté sur la butée et actionné par le matériau à couper. Le seul inconvénient de cette méthode c'est qu'un opérateur humain doit régler l'alimentation en matériau, de manière que ce dernier soit ralenti puis arrêté avant qu'il n'exerce une force trop importante sur la butée. L'alimentation en matériau effectuée par l'opérateur ralentit le processus, et les techniques de contrôle électrique qui peuvent remplacer l'opérateur seront étudiées dans les paragraphes suivants.





Lorsque la fabrication requiert simultanément une vitesse élevée et une précision relative, il n'est pas toujours nécessaire d'arrêter le mouvement du matériau pour le couper à la longueur voulue. Pour ceci, la butée de la table de découpage est enlevée et remplacée par un simple interrupteur-poussoir. L'alimentation en matériau à couper se fait à vitesse constante au moyen d'un convoyeur à courroie ou de roulements à entraînement faisant partie de la table, ou encore par un dispositif similaire qui pousse le matériau sur la table. Lorsque l'extrémité antérieure du matériau atteint l'interrupteur, l'interrupteur se ferme, et une meule à grande vitesse coupe rapidement le matériau, horizontalement ou verticalement. Le dispositif de coupe doit être conçu de façon à couper tellement rapidement que le mouvement du matériau ne se traduira pas par des variations de longueur ou par la détérioration de la meule elle-même. Ce procédé est particulièrement pratique lorsque le matériau est assez tendre pour être découpé rapidement, ou lorsque la longueur ou la profondeur de la coupe est faible.

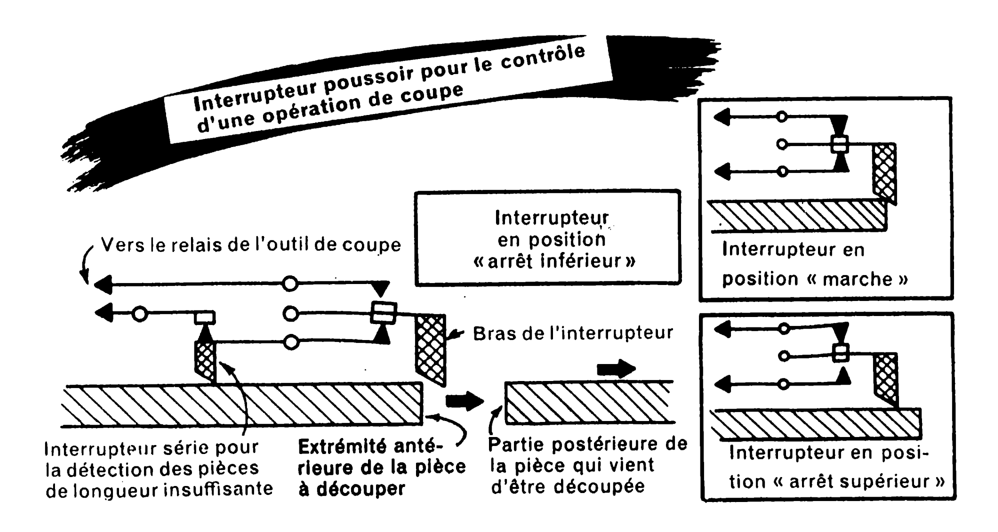
Si le problème de l'outil de coupe peut être résolu, le seul problème restant est celui de la conception d'un circuit de commutation adéquat pour la commande de cet outil. Le problème du circuit de commutation se ramène à l'élaboration d'un montage qui actionnera la meule uniquement lorsque l'extrémité antérieure du matériau non coupé atteindra l'interrupteur. La meule ne doit pas être mise en marche par la partie postérieure de la pièce qui a déjà été coupée. Pour éviter les complications qui pourraient résulter d'un contact se produisant entre l'extrémité postérieure et l'extrémité antérieure, il est souvent nécessaire d'introduire une séparation entre ces deux extrémités. À cette fin, le convoyeur à courroie ou les roulements qui sont placés après la scie fonctionnent plus rapidement que ceux qui amènent le matériau non découpé à l'outil de coupe.

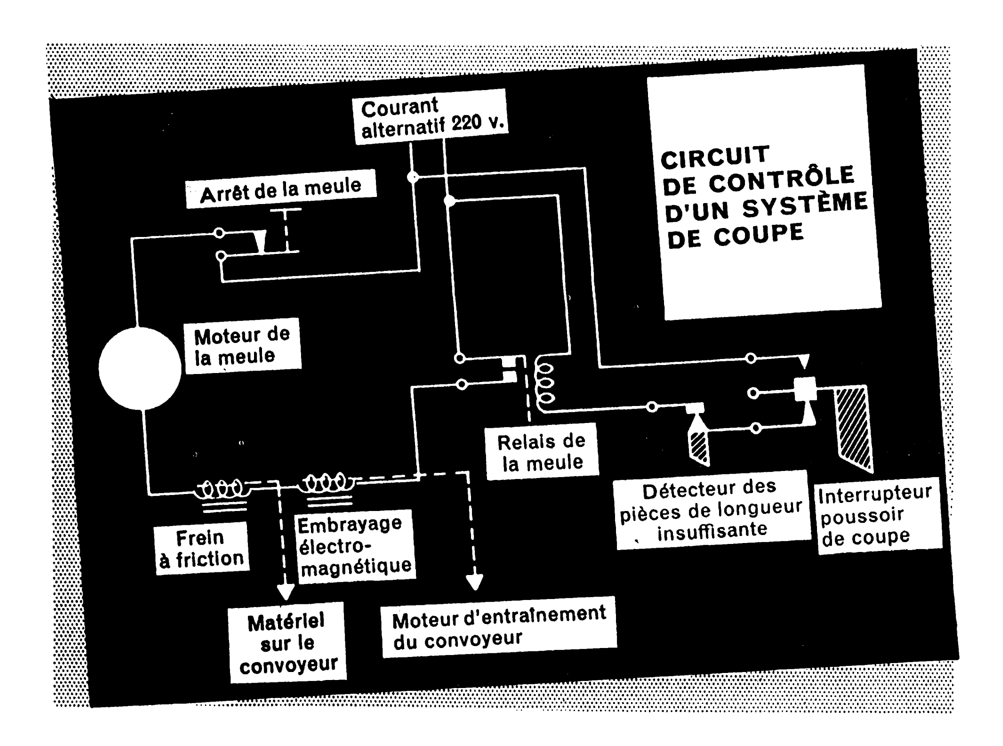
Il existe une grande variété de systèmes de commutation pouvant être utilisés pour commander la meule par action de l'extrémité antérieure du matériau non découpé. Dans cet ouvrage, nous nous contenterons d'en examiner un seul; vous pouvez en concevoir d'autres, ce qui sera un bon exercice d'application. Dans l'exemple que nous allons examiner, l'interrupteur comporte une position marche, une position « arrêt inférieur » et une position « arrêt supérieur ». Lorsque la partie antérieure du matériau s'approche de la position de coupe, le bras de l'interrupteur est abaissé à fond; il est en position « arrêt inférieur ». Lorsque la partie antérieure du matériau à découper entre en contact avec le bras de l'interrupteur, ce bras est relevé pour se mettre à l'origine de sa position « marche ».

La fermeture du circuit de l'interrupteur excite un relais dont les contacts fournissent une tension au système de découpage. Alors que le matériau continue à avancer, le bras de l'interrupteur poursuit son mouvement ascendant en position « marche », et la scie achève son opération. La continuation du mouvement avant du matériau assure la poursuite du déplacement du bras de l'interrupteur qui continue son mouvement ascendant, et les contacts arrivent en position « arrêt supérieur ». Ils demeurent dans cette position pendant que le matériau découpé se déplace sous l'interrupteur. Lorsque l'extrémité postérieure du matériau passe sous l'interrupteur, la forme du bras lui permet de retomber immédiatement. La construction de l'interrupteur permet aux contacts de s'ouvrir instantanément, de manière à ce que l'interrupteur aille d'une position « arrêt » à l'autre, sans passer par la position « marche ». Ainsi, la meule à découper n'est pas mise en marche par l'extrémité postérieure du matériau coupé; cette mise en route est seulement effectuée par la partie antérieure du matériau non découpé.

Si on ne dispose pas d'une meule qui puisse traverser le matériau en mouvement, ou encore si l'on souhaite disposer d'une précision plus importante, le mouvement du matériau doit être interrompu avant l'opération de découpage. Ceci signifie que le bord antérieur du matériau à couper doit s'arrêter exactement à la position d'arrêt. Si la vitesse du déplacement et / ou le poids du matériau à couper sont dans des limites raisonnables, un système de freinage relativement peu coûteux peut servir au découpage de longueurs précises.

Suivant cette méthode, le montage élémentaire est constitué par une table de coupe munie d'un interrupteur placé en position arrêt. La conception de l'interrupteur peut être la même que celle de l'interrupteur examiné précédemment, mais le relais accomplit des fonctions supplémentaires. Lorsque l'extrémité antérieure du matériau à couper s'approche de l'interrupteur, les contacts de cet interrupteur sont en position « arrêt ». Dès que la partie antérieure du matériau exerce une pression contre le bras de l'interrupteur, les contacts sont mis en position « marche ». Les contacts fournissent de l'énergie à la bobine d'un relais, et la fermeture de ce dernier fournit de l'énergie à un embrayage électromagnétique et à un frein à friction. L'embrayage libère le convoyeur ou les roulements du moteur qui les entraîne, et le frein à friction arrête le déplacement du matériau.





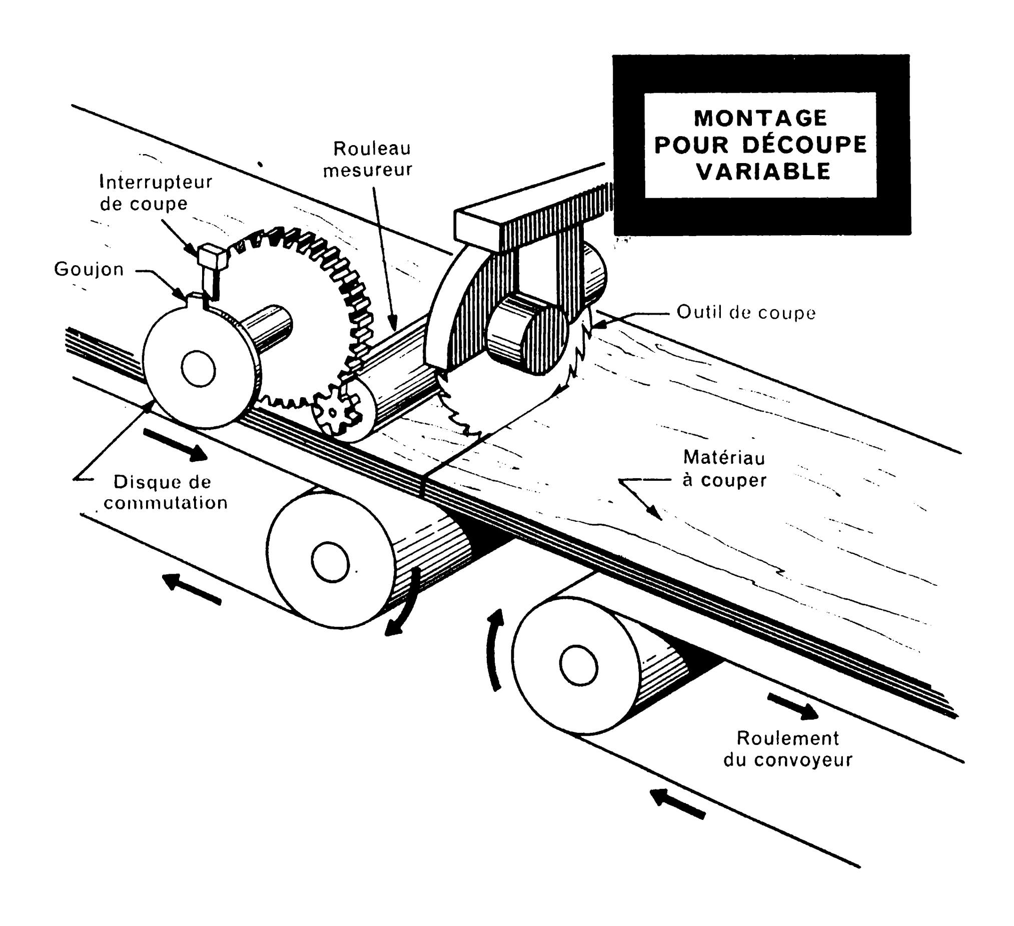
Les contacts du relais fournissent également une tension au mécanisme de l'outil de coupe. Du fait que le mécanisme doit déplacer l'outil jusqu'à la zone de travail avant de commencer l'opération de coupe, la coupe ne commence pas immédiatement. Cet intervalle de temps est d'une durée calculée qui est telle que le matériau arrêtera complètement son déplacement avant que l'opération de meulage ne commence vraiment. L'outil accomplit ensuite un cycle complet de fonctionnement et revient à sa position initiale. La vitesse du retour est telle qu'elle renvoie l'appareillage sur une position qui dépasse sa position normale de repos, et ce mouvement se traduit par l'ouverture momentanée d'une paire de contacts qui sont en série avec la bobine du relais. Un ressort repousse l'outil sur sa position normale de repos, mais le frein a déjà été desserré, et l'embrayage a déjà remis le convoyeur en marche.

Le matériau découpé se déplace maintenant en avant, et exerce une pression sur l'interrupteur qui se trouve à la position arrêt, et il le met en position « arrêt supérieur ». Lorsque l'extrémité postérieure du matériau passe sous le bras de l'interrupteur, les contacts sont instantanément ramenés à leur position « arrêt inférieur ». La séquence d'opérations peut alors être recommencée.

Si la vitesse ou le poids du matériau sont trop élevés, le simple système de freinage décrit ne suffit pas pour arrêter le mouvement du matériau. Dans ces conditions, un interrupteur supplémentaire peut être placé sur le chemin de l'extrémité antérieure de la pièce suivante. Cet interrupteur peut être connecté de manière à assurer la mise en action de l'embrayage et l'application d'un léger freinage au matériau avant qu'il n'atteigne la position d'arrêt final. Du fait de ce freinage initial, le mouvement du matériau est fortement ralenti avant qu'il n'entre en contact avec le bras de l'interrupteur final. Lorsqu'on utilise un dispositif de freinage de forte puissance, le matériau est immédiatement bloqué à la position voulue.

Les exemples que nous avons envisagés reposaient sur l'utilisation d'une table de coupe dont la butée était munie d'un interrupteur. Ceci n'est pas absolument nécessaire; un contrôle approprié de l'opération de découpage peut être réalisé par la mesure de la longueur désirée (ou des longueurs désirées); cette mesure se fait lors du passage du matériau entre un rouleau mesureur et un des roulements du convoyeur à courroie. Dans un montage de ce type, le rouleau mesureur est connecté de manière à entraîner un jeu d'engrenages de précision, qui, à son tour, entraîne un disque qui fait fonctionner l'interrupteur. Puisque l'on connaît le diamètre des roulements et le rapport de démultiplication des engrenages, il est alors très simple de construire un disque de commutation qui effectue une rotation complète lorsque la bonne longueur de matériau est passée entre les roulements. Un goujon fixé sur le bord du disque de commutation forme une protubérance qui marque l'extrémité antérieure du matériau.

Ainsi, le passage du goujon devant toute marque de référence fixe correspond au mouvement de l'extrémité antérieure du matériau vers la position de la butée. Le goujon peut être utilisé pour actionner un interrupteur d'arrêt, comme cela a été expliqué.

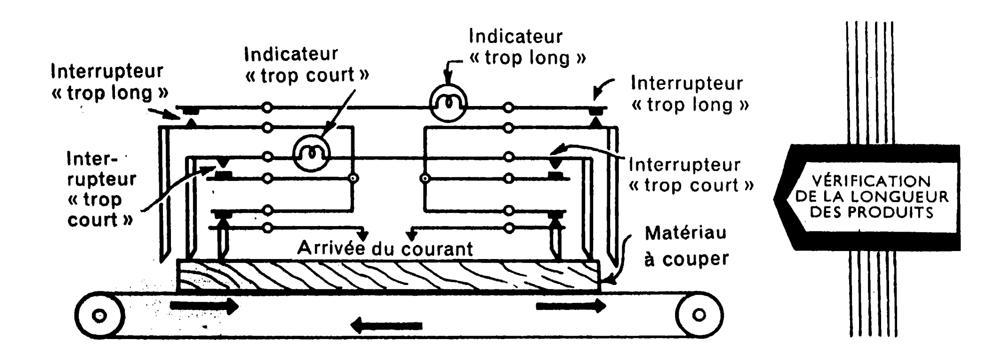


Les techniques qui ont été décrites ont servi à couper le matériau pour lui donner une longueur mesurée et déterminée à l'avance. Aussi, on peut considérer que le processus a effectué à la fois l'opération de coupe et celle de vérification. Cependant, si une inspection supplémentaire est nécessaire pour s'assurer que la longueur satisfait bien aux conditions imposées en début de processus, plusieurs techniques peuvent être employées à cet effet.

La réalisation effective de l'inspection se fait généralement sur le principe du « bon-pas bon »; ceci veut dire que la mesure effective de la pièce n'est pas l'élément le plus important. Ce qui est important est le fait que la longueur prédéterminée varie à l'intérieur de certaines limites. Ces limites peuvent être comprises entre 10% trop long et 10% trop court, 5% trop long et 1% trop court, 1 centimètre trop long et pas de tolérance de « trop court », ou toutes autres limites choisies.

Les mesures qui sont nécessaires à la détermination de la longueur de la pièce, c'est-à-dire les mesures destinées à s'assurer que la pièce rentre bien dans les tolérances dimensionnelles fixées, peuvent être exécutées automatiquement pendant que le matériau se déplace sur un convoyeur. Ces opérations peuvent être effectuées à l'aide d'un ensemble de six interrupteurs connectés comme l'indique le schéma suivant. Les deux interrupteurs situés le plus à l'intérieur sont placés l'un par rapport à l'autre à une certaine distance qui est légèrement inférieure à la plus faible longueur acceptable, et aussi un peu plus courte que la plus petite longueur qui peut résulter du fonctionnement défectueux de la table de coupe. (Un grand nombre d'interrupteurs de ce type peut être utilisé pour détecter et rejeter des pièces de très petites dimensions.) Ces deux interrupteurs sont en série avec les autres circuits de commutation, et le système de vérification ne fonctionnera que si les deux interrupteurs intérieurs sont fermés simultanément. Ces interrupteurs ont un but bien précis : ils donnent l'indication de la présence d'une pièce à mesurer. Lorsque ces deux interrupteurs sont soumis à une pression verticale exercée vers le haut par la pièce coupée qui passe entre eux, les quatre autres interrupteurs fonctionnent.

Dans ces conditions, si à un moment quelconque les bras des deux interrupteurs extérieurs sont soulevés simultanément, le circuit « trop long » est fermé. Cette position peut servir à exciter un indicateur lumineux ou un solénoïde qui pousse le matériau coupé sur un convoyeur « trop long ». Dans des conditions semblables (interrupteurs intérieurs fermés), si les deux bras des interrupteurs centraux sont abaissés simultanément, le circuit « trop court » est fermé. Ce signal peut servir à exciter un autre indicateur lumineux ou un solénoïde qui pousse le matériau coupé sur un convoyeur « trop court ». En l'absence de l'une ou l'autre de ces conditions, la longueur de matériau coupé se trouve comprise dans les tolérances acceptables, et demeure sur le même convoyeur. Celui-ci transporte le matériau au prochain poste de travail ou à l'emplacement à partir duquel il va être expédié.

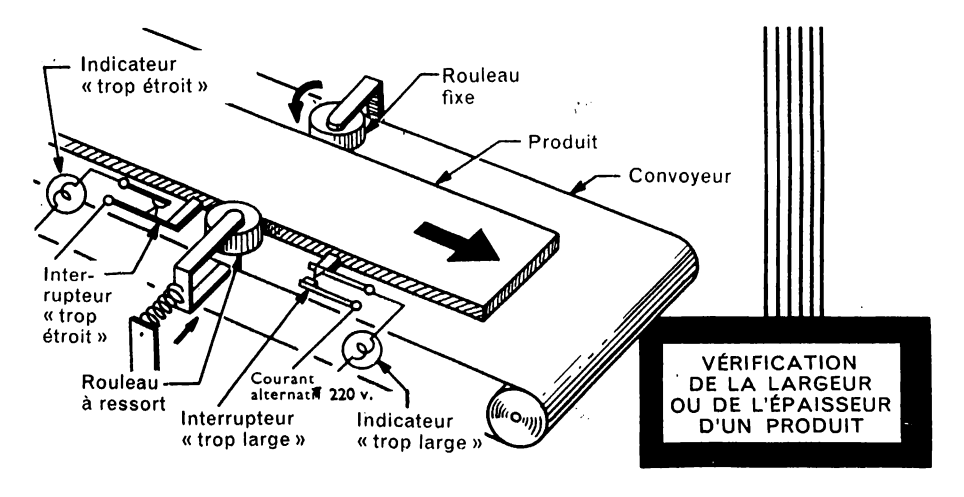


VÉRIFICATION ET CONTRÔLE DE LA LARGEUR ET DE L'ÉPAISSEUR DES PRODUITS

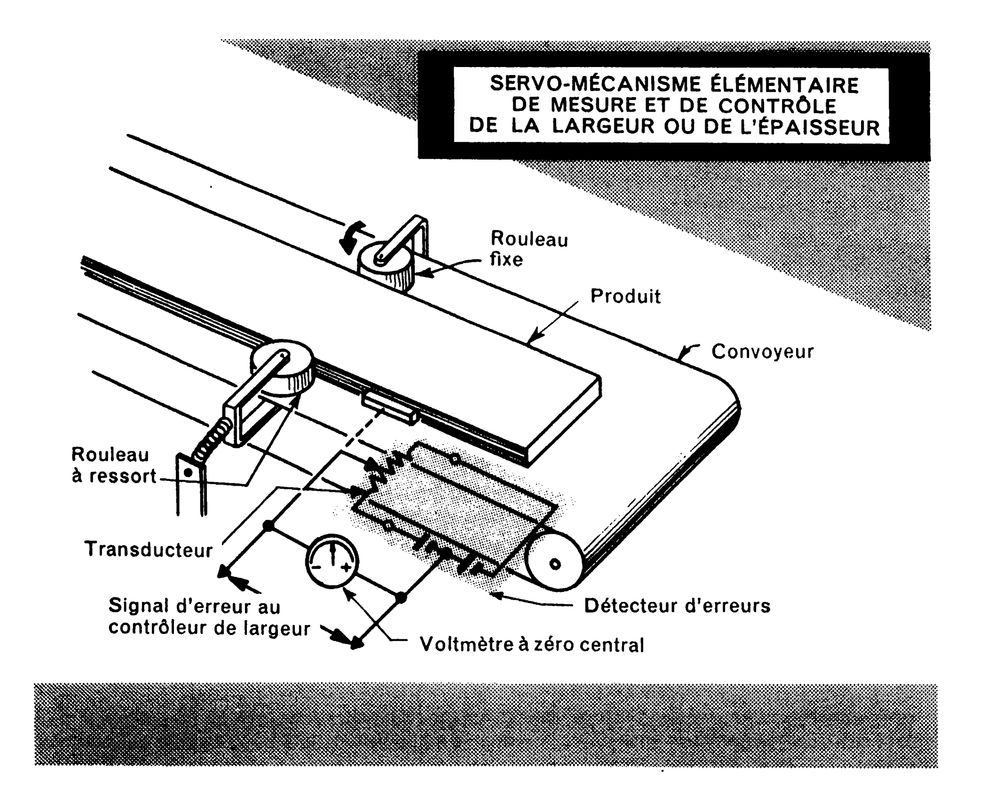
L'inspection et le contrôle de la largeur et de l'épaisseur des produits sont habituellement plus simples; en effet, on n'y trouve généralement pas les difficultés inhérentes aux extrémités antérieure et postérieure du produit. Ceci est dû au fait que les barres, tôles, poutres, etc. sont habituellement fabriquées en très grandes longueurs, et il est très simple d'arrêter le système de vérification et de contrôle après le passage de chaque grande longueur sur le convoyeur.

Il est peu probable que la largeur ou l'épaisseur des produits varient en dehors des limites choisies; en effet, ces dimensions sont contrôlées en soumettant les produits à une pression exercée par des filières ou des rouleaux fixes, ou par un coupage effectué par des outils fixes. Dans l'un et l'autre cas, la largeur ou l'épaisseur peuvent seulement varier lorsque les filières fixes ou les outils de coupe sont endommagés, déplacés ou usés; ou encore, lorsque les produits sont déformés ou trop étroits lors de leur introduction dans le mécanisme servant à la détermination de la largeur. Pour éviter de trop nombreuses répétitions, nous nous attacherons uniquement à la vérification et au contrôle de la largeur; étant entendu que tout ce qui en est dit s'applique également à la vérification et au contrôle de l'épaisseur.

Lorsque la largeur est contrôlée au moyen d'un mécanisme fixe, il suffit de vérifier le produit pour s'assurer qu'il demeure dans les tolérances de largeur voulues. Ce type d'inspection peut être effectué par des interrupteurs sur une base « bon-pas bon ». Lorsque le produit se déplace sur le convoyeur, il passe entre un rouleau fixe et un autre rouleau dont la pression contre le matériau est assurée par un ressort; simultanément, ce ressort agit sur le matériau qui porte ainsi sur le rouleau fixe. Deux interrupteurs normalement ouverts sont placés à proximité du roulement à ressort. L'interrupteur « trop étroit » est muni d'un bras qui s'appuie contre le bord du produit qui se déplace; si le produit devient plus étroit, le bras se déplace dans la direction du rouleau fixe, et les contacts se ferment. L'interrupteur « trop large » est également muni d'un bras qui s'appuie contre le bord du produit qui se déplace; si le produit devient plus large, le bras se déplace dans la direction opposée de celle où se trouve le rouleau fixe, et ses contacts se ferment. La fermeture des contacts de l'un ou l'autre des interrupteurs peut être employée pour déclencher des avertisseurs distincts « trop large » ou « trop étroit », pour déclencher un signal d'alarme unique, ou pour arrêter le convoyeur. Dans tous les cas, un opérateur est averti; il effectue les réglages nécessaires au bon fonctionnement du mécanisme servant à la détermination de la largeur, et il laisse les opérations se poursuivre.



VÉRIFICATION DE LA LARGEUR OU DE L'ÉPAISSEUR D'UN PRODUIT



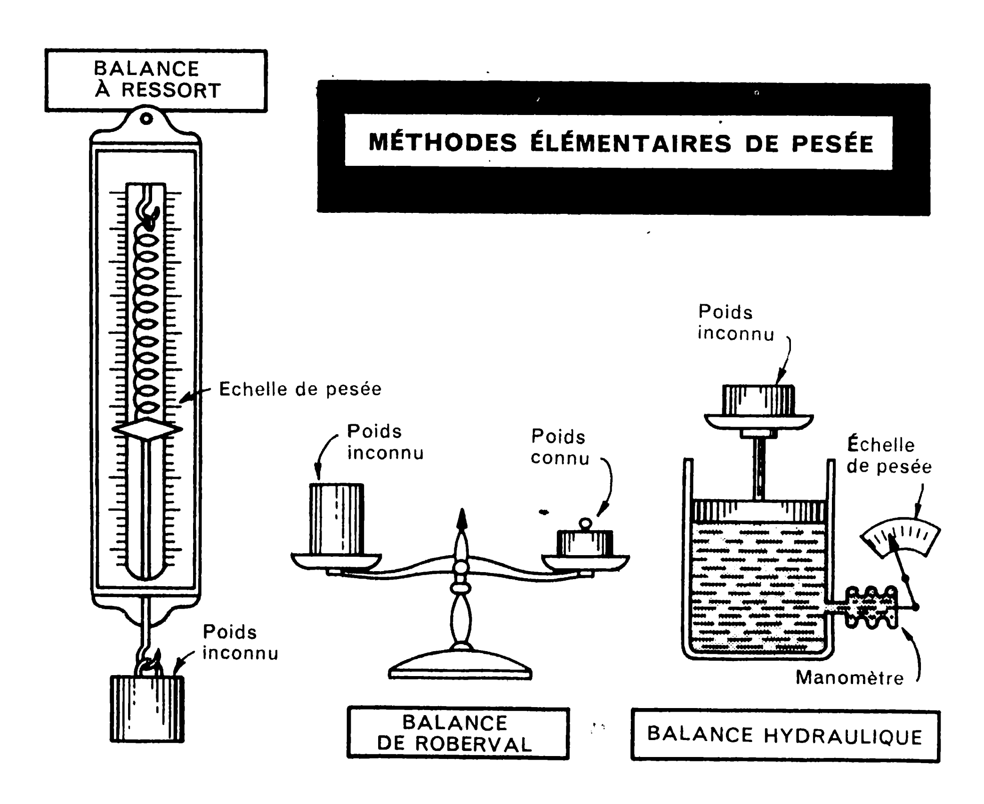
Du fait de la simplicité de cette méthode de mesure, il est aisé d'obtenir en lecture directe les variations de la largeur du produit. Ces indications peuvent être obtenues en millimètres ou centimètres, et elles indiquent le dépassement ou l'insuffisance de largeur du produit, par rapport à la largeur exacte recherchée. À cette fin, il suffit de placer le curseur d'un potentiomètre de précision contre le bord du matériau qui se déplace sur le convoyeur, de sorte que les variations de largeur du matériau se traduisent par un déplacement du curseur sur l'élément résistif. Les variations de tension qui résultent des changements de largeur du produit peuvent être lues sur un voltmètre à zéro central qui est directement étalonné en millimètres ou en centimètres, de part et d'autre de la valeur centrale correspondant à la largeur initialement recherchée. Lorsque la vérification porte sur des variations de largeur trop faibles pour être détectées avec précision par un potentiomètre, il est alors possible d'utiliser un transducteur à déplacement physique, par exemple un extensomètre à fil résistant, ou un des autres dispositifs qui ont été envisagés dans le cadre de la Section 5.

Si le processus l'exige, le montage d'inspection peut être modifié de manière à se transformer et à accomplir le travail d'un servo-mécanisme de contrôle de la largeur. À cette fin, on utilise le signal de sortie d'un potentiomètre ou d'un extensomètre; ce signal de sortie fournit le signal d'erreur. Ce signal d'erreur peut être utilisé pour entraîner un moteur asservi qui déplace les outils de façonnage ou les filières de manière à rectifier l'opération. Le signal d'entrée convenable est fonction de la distance entre le roulement fixe et le transducteur. Et la largeur qui résulte du fonctionnement du servo-mécanisme peut être modifiée selon les besoins, en réglant cette distance.

VÉRIFICATION ET CONTRÔLE DU POIDS DES PRODUITS

Le contrôle et l'inspection du poids sont courants dans le contrôle des fabrications. Le contrôle et la vérification du poids sont généralement effectués à l'aide de systèmes de pesage simples et sûrs tels que la balance à ressort et la balance de Roberval que vous avez pu voir dans les magasins d'alimentation, les bureaux de poste, les aérogares et les dépôts des chemins de fer. On utilise également des dispositifs hydrauliques. Dans ces derniers, le poids est placé sur une plate-forme supportée par un ou plusieurs montages à piston et cylindre contenant un liquide; la pression qui est ainsi appliquée au liquide est ensuite lue sur une échelle étalonnée en unités de poids. Quelle que soit la technique utilisée, les dispositifs industriels de pesée se composent de plates-formes (plateaux) ou de récipients destinés à recevoir les produits; des aiguilles indicatrices et des cadrans étalonnés sont alors utilisés pour indiquer le poids en unités normalisées.

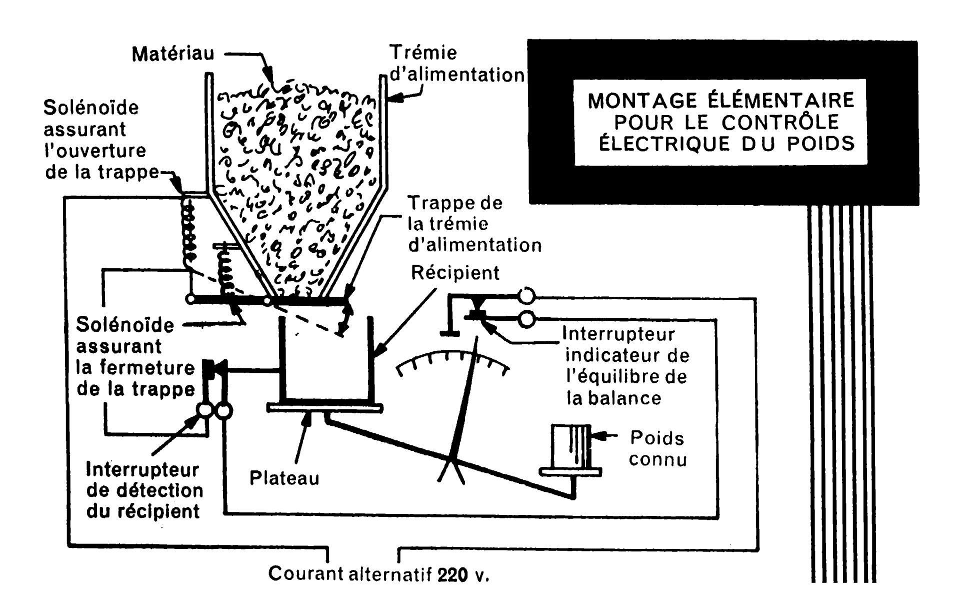
Les dispositifs industriels de pesée sont souvent équipés de tubes amortisseurs hydrauliques ou à air, qui amortissent les oscillations qui se produisent lorsque le matériau est placé sur la plate-forme. Ils sont parfois munis de dispositifs électromécaniques de verrouillage qui bloquent la plate-forme pendant la mise en place ou l'enlèvement du matériau. Ceci permet également de réduire considérablement l'oscillation de la plate-forme. Il est important d'empêcher l'oscillation verticale de la plate-forme; en effet, une pesée précise ne peut être faite avant l'arrêt complet du mouvement, et s'il faut attendre que la balance amortisse elle-même son mouvement oscillatoire, ceci se traduit par une perte de temps toujours indésirable.



Le schéma ci-après représente la technique élémentaire de la commande électrique de la pesée. Avant le commencement du processus le plateau ne supporte pas de récipient. Les contacts de l'interrupteur détecteur de récipient so:. ouverts; cet interrupteur est situé à proximité du plateau. Le circuit est au repos et l'ouverture de la trémie d'alimentation est maintenue fermée par un ressort. Lorsqu'un récipient est placé sur le plateau, les contacts de l'interrupteur de détection se ferment. Le solénoïde servant à l'ouverture de la trémie est excité par suite des contacts fermés de l'interrupteur détecteur de récipient, ainsi que par l'interrupteur indicateur de l'équilibre de la balance. Le solénoïde excité exerce une traction sur l'ouverture de la trémie d'alimentation, il la met en position « ouvert », et le matériau commence à se déverser dans le récipient. Souvenez-vous que, si le solénoïde nécessite un courant important, les contacts de l'interrupteur de la balance peuvent être montés en série avec la bobine d'un relais; les contacts du relais peuvent alors fournir au solénoïde le courant nécessaire.

Le matériau continuant à s'accumuler dans le récipient, le plateau de la balance s'abaisse progressivement, et l'aiguille se déplace devant le cadran indicateur pour se rapprocher de plus en plus de l'interrupteur. Lorsque l'aiguille indicatrice entre en contact avec l'interrupteur, ses contacts s'ouvrent. Le solénoïde est alors désexcité, et le ressort de fermeture de la trappe de la trémie la repousse rapidement pour la ramener en position fermée. On prévoit l'influence du poids du récipient et on place l'interrupteur indicateur d'équilibre en regard du poids voulu. Ce qui permet au récipient de recevoir la quantité exacte de matériau. Lorsque l'on procède à l'enlèvement du récipient rempli, les contacts de l'interrupteur de détection de récipient s'ouvrent, et le processus peut être recommencé.

Cette méthode manque un peu de précision. En effet, pendant que le ressort ferme la trappe du système d'alimentation, une certaine quantité de matériau continue à être déversée dans le récipient. Il en résulte que le poids total est supérieur au poids recherché. Et, dans certaines utilisations, ce résultat est tout à fait indésirable.

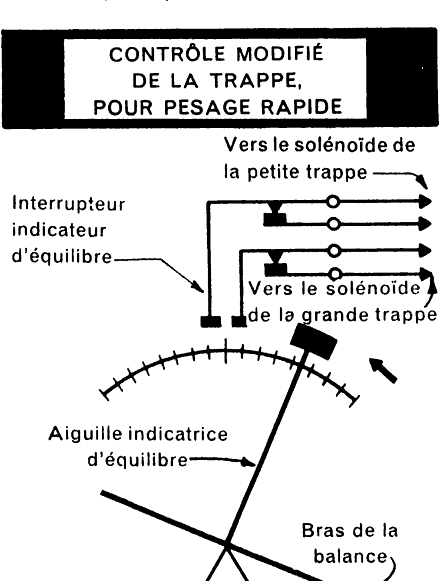


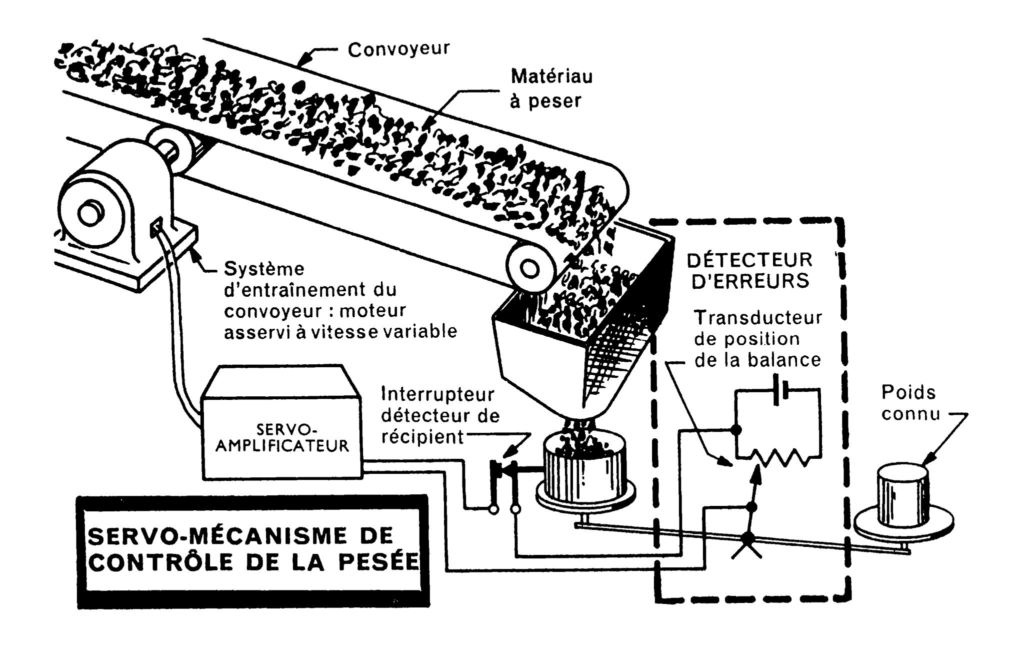
MONTAGE ÉLÉMENTAIRE POUR LE CONTRÔLE ÉLECTRIQUE DU POIDS

Le procédé le plus simple pour réduire l'erreur de poids consiste à réduire la dimension de l'ouverture de la trémie d'alimentation. Ainsi, lorsque la trappe se referme, une moindre quantité de matériau continue à se déverser dans le récipient. Cette disposition réduit l'erreur, mais elle a l'inconvénient d'accroître le temps de pesée dans les mêmes proportions; cette perte de temps est généralement indésirable.

Une autre méthode permettant de réduire l'erreur de poids consiste à mesurer soigneusement la quantité de matériau supplémentaire qui est déversée dans le récipient. Ensuite, en réglant l'interrupteur indicateur d'équilibre pour le faire coïncider avec un poids inférieur calculé, en tenant compte du poids supplémentaire, le poids du matériau déversé dans le récipient peut être, à très peu de chose près, égal au poids exact prévu. Cette technique comporte cependant un inconvénient; en effet, du fait des variations de la taille et des qualités adhésives des particules du matériau, le flux de matériau qui passe par la trappe du système d'alimentation est lui-même variable. Ces variations peuvent réduire le flux du matériau supplémentaire qui continue à tomber pendant le temps de fermeture de la trappe, et le poids total du matériau déversé peut se révéler insuffisant. Dans de nombreux cas, un poids trop faible présente autant d'inconvénients qu'un poids trop élevé.

Des méthodes électriques garantissent l'exactitude des quantités déversées dans les récipients. Le schéma suivant représente un système électrique qui permet un remplissage rapide et exact du récipient. Ce montage est presque identique à l'ensemble constitué par l'interrupteur et le système d'alimentation, qui a déjà été étudié. Il existe cependant une différence importante; ici la trémie d'alimentation comporte deux trappes, une grande et une petite. Lorsque le récipient est placé sur le plateau de pesée, les contacts de l'interrupteur détecteur sont fermés. Les deux trappes du système d'alimentation sont ouvertes, et le matériau se déverse rapidement dans le récipient. Le poids croissant du matériau qui remplit le récipient exerce une pression sur le plateau qui supporte le récipient; et l'aiguille indicatrice se déplace vers les deux paires de contacts de l'indicateur d'équilibre. Lorsque le poids du matériau contenu dans le récipient est un peu inférieur au poids voulu, l'aiguille indicatrice touche et ouvre la première paire de contacts de l'interrupteur indicateur d'équilibre du système de pesée. Ceci désexcite le solénoïde qui ferme la grande trappe, et la plus grande partie du flux de matériau est rapidement arrêtée. Le matériau se déverse alors seulement par la petite trappe, et l'augmentation de poids devient beaucoup plus faible. Lorsque l'aiguille indicatrice touche et ouvre les contacts du deuxième interrupteur, la petite trappe du système d'alimentation se ferme également. Ainsi, en utilisant deux trappes comme indiqué, les avantages d'un écoulement rapide et d'une fermeture prématurée de la trappe ont été combinés avec ceux d'un débit lent et d'une fermeture précise et exacte de la trappe. Cette technique supprime la possibilité d'une alimentation trop faible en matériau, et réduit également au minimum la quantité supplémentaire de matériau.





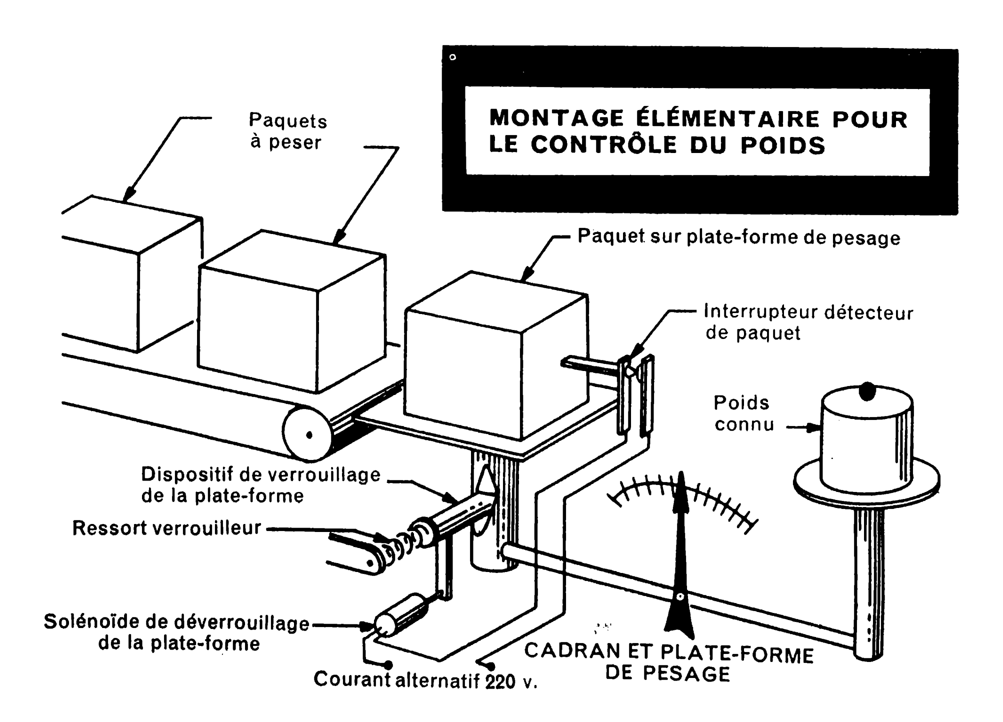
Le système d'alimentation à deux trappes peut fournir du matériau avec une vitesse et une précision qui suffisent pour la plupart des utilisations normales. Il peut également être modifié pour servir à la pesée des liquides; à cet effet, le système d'alimentation est remplacé par un réservoir ou par une canalisation et les trappes de la trémie d'alimentation sont remplacées par des vannes commandées par des solénoïdes.

Lorsque les opérations doivent s'accomplir à la fois avec une grande précision et une vitesse élevée de pesée, la meilleure solution réside dans l'utilisation d'un système de contrôle automatique à base de servo-mécanismes. Le schéma précédent donne un exemple de ce type de montage. Un convoyeur assure le transport du matériau jusqu'au récipient. Lorsque la courroie porteuse du convoyeur franchit le dernier rouleau, le matériau tombe dans le récipient. Un dispositif en forme d'entonnoir peut être utilisé pour diriger plus sûrement le matériau vers le récipient et empêcher ainsi les pertes. Le système de contrôle se compose de l'habituel potentiomètre (transducteur) et d'un montage de servo-moteur à vitesse variable. Le bras de contrôle du potentiomètre est connecté à l'aiguille indicatrice de poids, et son signal de sortie est le signal d'erreur. Le signal d'entrée est constitué par le poids connu placé sur le bras de la balance qui est symétrique au plateau portant le récipient.

Lorsque le récipient est placé sur le plateau de la balance, les contacts de l'interrupteur de détection sont fermés, et le circuit commence à fonctionner. Le curseur du potentiomètre qui est connecté à l'aiguille indicatrice d'équilibre est loin de la position d'équilibre; en conséquence, le signal d'erreur est maximum. Le servo-moteur est actionné par le signal d'erreur; il tourne donc à grande vitesse, et le matériau est rapidement déversé dans le récipient. Le poids du matériau pesé s'accroît; et simultanément, l'aiguille indicatrice d'équilibre se déplace sur le cadran étalonné. Ceci diminue le signal d'erreur ainsi que la vitesse à laquelle le matériau est déversé dans le récipient. Lorsque le bras du potentiomètre atteint la position d'équilibre, le moteur s'arrête car le signal d'erreur est alors nul. Le matériau n'est plus déversé dans le récipient.

Pour la vérification du poids, il est facile de déterminer le nombre de kilogrammes et de grammes d'un produit fabriqué ou d'un matériau. La connaissance du poids exact est généralement moins importante que la possibilité de pouvoir sélectionner les objets qui se trouvent dans des limites de poids acceptables, et de mettre de côté ceux qui sont trop lourds ou trop légers. Le schéma représente un montage élémentaire pour la vérification du poids et le triage d'objets ou de paquets. De nombreuses variantes sont possibles, mais les principes restent conformes à l'exemple représenté par le schéma.

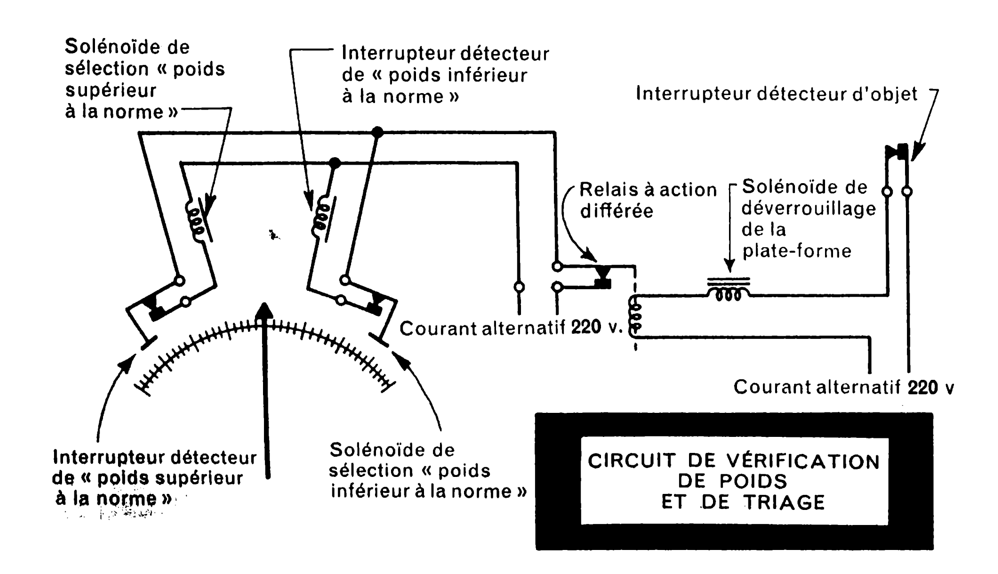
Le fonctionnement de ce montage est basé sur l'utilisation d'une plate-forme de pesage et d'une échelle indicatrice munie d'interrupteurs actionnés par l'aiguille de la balance. L'objet à peser est transporté jusqu'au plateau de pesage par un convoyeur à courroie. Un plan légèrement incliné peut être nécessaire pour amener l'objet sur la plate-forme de pesage et prévenir tout contact entre ce paquet et le convoyeur. Notez que la plate-forme de pesage est munie d'un dispositif de verrouillage actionné par un ressort et un solénoïde. La plate-forme est supportée par un axe muni d'une découpure en forme de V. Le ressort exerce une pression sur le dispositif de verrouillage qui s'enclenche dans la découpure, et ceci oblige la plate-forme à se mettre au niveau correspondant exactement à celui qui résulterait de l'action d'un poids exact. Lorsque l'objet à peser glisse sur la plate-forme, les contacts de l'interrupteur détecteur de paquet sont fermés. Ceci excite un solénoïde qui tire le dispositif de verrouillage à l'encontre de la force exercée par le ressort; ainsi, l'objet peut être pesé. Lorsque le paquet est enlevé de la plate-forme de pesage, les contacts de l'interrupteur détecteur s'ouvrent, et cette ouverture se traduit par la remise en place du dispositif de verrouillage qui bloque la plate-forme.



Ce montage de verrouillage et de mise à niveau de la plate-forme comporte un avantage important. Lorsqu'un objet est placé sur la plate-forme, les oscillations de celle-ci sont réduites à un minimum. Le verrouillage ne supprime pas seulement le choc qui se produit lorsque l'objet est mis sur la plate-forme; il a également l'avantage de maintenir la plate-forme au niveau exact auquel une unité de poids voulu l'amènerait. Comme on peut s'attendre à ce que la plus grande partie des objets qui sont placés sur la plate-forme soient d'un poids très proche du poids recherché, il n'y aura pratiquement pas d'oscillations. Ceci empêche l'ouverture et la fermeture répétées d'un interrupteur indicateur et se traduit par une diminution du temps de pesée.

Le schéma suivant représente un circuit destiné à la vérification et au triage. Lorsque le paquet à peser glisse sur la plate-forme de pesage, celle-ci est déverrouillée comme il a déjà été indiqué. Le courant qui excite le solénoïde excite également la bobine d'un relais à action différée. Ce relais retarde l'application de la tension aux interrupteurs détecteurs de poids de la balance, et ce pendant un temps qui peut varier d'une fraction de seconde à une seconde entière, selon les besoins. Ceci permet à d'éventuelles oscillations de la plate-forme de s'amortir, afin que l'interrupteur non adéquat du cadran ne soit pas actionné pendant ces oscillations. Ainsi, la tension n'est appliquée aux interrupteurs du cadran qu'après l'immobilisation de l'aiguille indicatrice.

Après qu'elle se soit immobilisée, et que la tension ait été appliquée aux interrupteurs détecteurs de poids de la balance, l'aiguille indicatrice peut occuper trois positions. Si elle est dans la région correspondant au poids convenable, les contacts des deux indicateurs du cadran sont fermés. Les deux solénoïdes de sélection sont excités, et la combinaison résultant de leurs actions respectives pousse l'objet en avant, sur un convoyeur « accepté ». Si l'aiguille indicatrice se trouve dans la région « poids supérieur à la norme », les contacts du solénoïde « poids supérieur à la norme » sont ouverts. Un seul solénoïde (poids inférieur à la norme) est alors excité. Et le fonctionnement de ce solénoïde se traduit par une poussée diagonale exercée sur l'objet, et qui a pour conséquence de pousser ce dernier sur un convoyeur « poids supérieur à la norme ».



CIRCUIT DE VÉRIFICATION DE POIDS ET DE TRIAGE

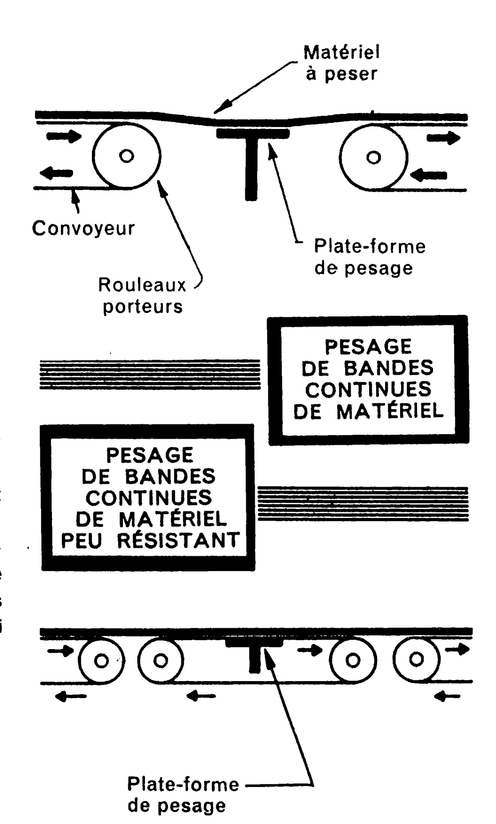
Si l'aiguille indicatrice est dans la région « poids inférieur à la norme », les contacts de l'interrupteur « poids inférieur à la norme » sont ouverts. L'autre solénoïde est alors excité, et son fonctionnement se traduit par une poussée diagonale exercée sur l'objet qui est poussé à travers la plate-forme pour être disposé sur un autre convoyeur, le convoyeur « poids inférieur à la norme ».

Dès que l'objet est enlevé de la plate-forme, les contacts de l'interrupteur détecteur d'objets s'ouvrent. Le courant s'interrompt dans tous les circuits. Le dispositif de verrouillage ramène la plate-forme à son niveau d'équilibre, et le système est prêt à recommencer son cycle dès qu'un nouvel objet est amené sur la plate-forme de pesage.

Dans certaines utilisations, il peut être souhaitable d'effectuer le contrôle du poids de longues bandes de matériau qui sont portées par un convoyeur. Le schéma ci-après vous montre le procédé utilisé pour cette opération. Le matériau passe sur des convoyeurs séparés par un espace assez important; cet espace est calculé de manière à permettre à une importante partie du poids du matériau d'appuyer sur la plate-forme de pesage qui est placée entre les deux supports extrêmes des convoyeurs.

Bien que le poids total du matériau suspendu ne s'appuie pas sur la plate-forme de pesage, on peut déterminer la partie exacte de ce poids qui exerce son action sur cette plate-forme. Le cadran indicateur peut alors être étalonné directement en kilogrammes par mètre de matériau. Le système indicateur peut être muni d'interrupteurs qui déclencheront des signaux « trop lourd » ou « trop léger » lorsque le poids du matériau varie hors des limites fixées.

Certains matériaux ne sont pas assez résistants pour que des longueurs suffisantes puissent être suspendues entre des rouleaux porteurs. Voici quelques exemples de ces matériaux : des feuilles humides de papier épais comprimé, du feutre, des épaisseurs de matériau composé de fibres courtes, et de nombreux types de matériaux qui, situés aux premières étapes de leur fabrication, n'ont pas encore subi leur traitement de durcissement. Le poids de ces matériaux peut être évalué en faisant subir une seule modification à l'équipement décrit. Cette modification apparaît sur la figure; elle consiste à placer une courroie sans fin de matériau léger mais résistant, entre les points d'appui pour permettre qu'une longueur raisonnable de matériau exerce son action sur la plate-forme de pesage. Une correction doit intervenir pour tenir compte du poids de la courroie; en effet, cette courroie est également supportée par la plate-forme de pesage. Une fois que cette correction a été faite, le système donne les mêmes indications et fonctionne comme celui qui vient d'être décrit.

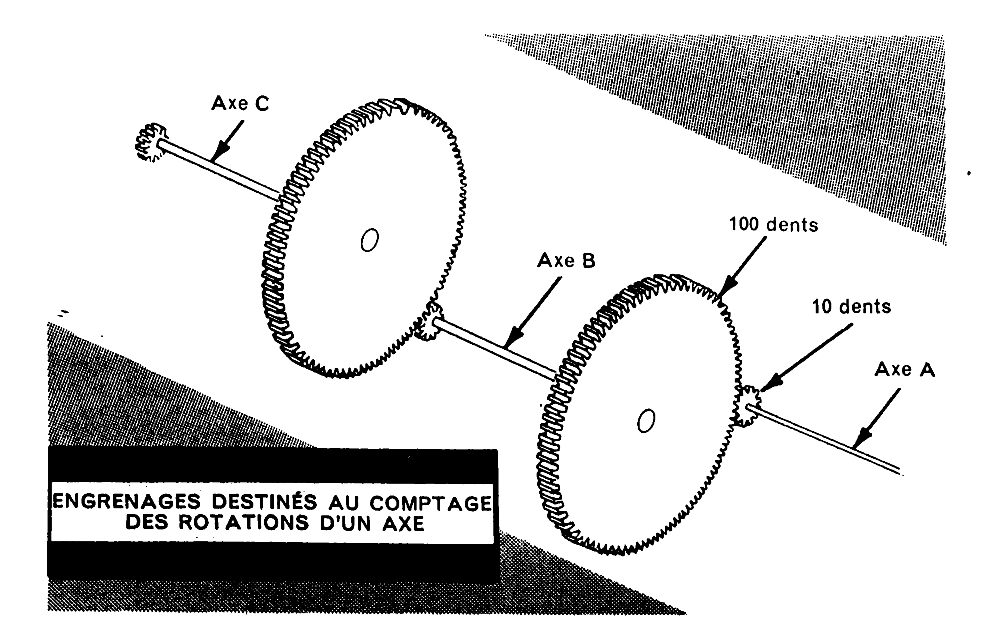


COMPTAGE ÉLECTRIQUE DES PRODUITS

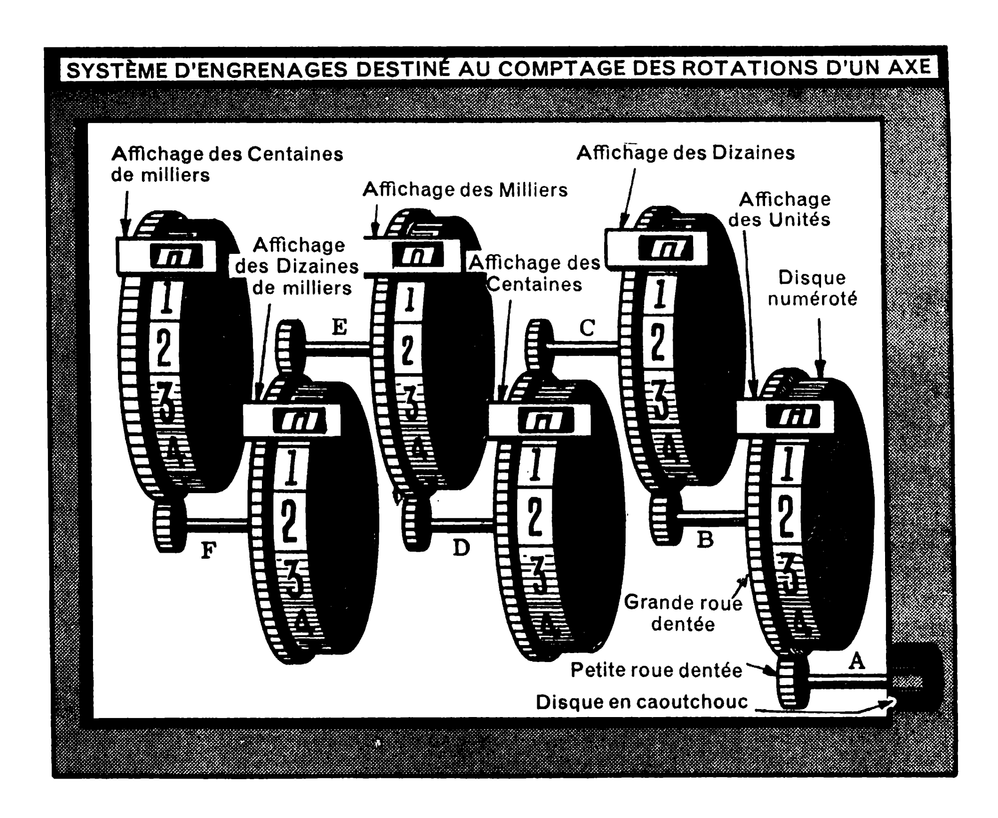
En prenant connaissance des montages utilisés pour le contrôle automatique des dimensions des produits et pour la vérification du produit et du poids, vous avez sans doute pensé qu'une méthode sûre était nécessaire pour le comptage du nombre d'objets acceptés ou rejetés. Pour s'assurer que le nombre d'objets produits n'est ni supérieur ni inférieur à la production voulue, il faut disposer d'un système de comptage adéquat. En outre, en ce qui concerne les usines qui fabriquent des articles standards de manière continue, il est nécessaire de disposer de comptes exacts indiquant le nombre d'articles acceptés ou rejetés. Ce comptage continu nous permet de nous assurer qu'un nombre anormalement élevé d'objets défectueux sera rapidement décelé et que, en conséquence, les réglages et mises au point nécessaires de l'équipement pourront être effectués.

Bien que le comptage des produits puisse s'effectuer à l'aide d'une vaste gamme de matériels électroniques divers, les techniques électriques sont généralement basées sur un système mécanique simple. Ce montage se compose du système d'engrenages représenté sur le schéma ci-dessous. Notez que ce montage se compose de jeux d'engrenages identiques : une grande et une petite roue dentée solidement reliées l'une à l'autre. Ces deux roues sont construites de manière que leurs dents soient de formes et de dimensions correspondantes, et que la grande roue comporte dix fois plus de dents que la petite. Par exemple, si la petite roue est munie de dix dents, la grande en aura cent.

Lorsque les grandes et petites roues des systèmes successifs sont reliées comme l'indique le schéma, il en résulte un effet multiplicateur. Prenons un exemple : Lorsque l'axe A subit une rotation complète, les dix dents de sa petite roue déplacent seulement dix dents de la grande roue dentée placée sur l'axe B. Il en résulte que l'axe B fait seulement un dixième de tour. Pour que l'axe B fasse un tour complet, il faut que l'axe A accomplisse dix rotations.



ENGRENAGES DESTINÉS AU COMPTAGE DES ROTATIONS D'UN AXE



De la même manière, pour que l'axe C fasse un tour complet, il faut que l'axe B effectue dix rotations complètes. En conséquence, pour que l'axe C effectue un seul tour, l'axe A doit tourner 100 fois. D'autres paires d'engrenages peuvent être ajoutées, et l'axe A devra tourner 1 000, 10 000, 100 000 fois pour que chacun des axes successifs accomplisse une rotation complète.

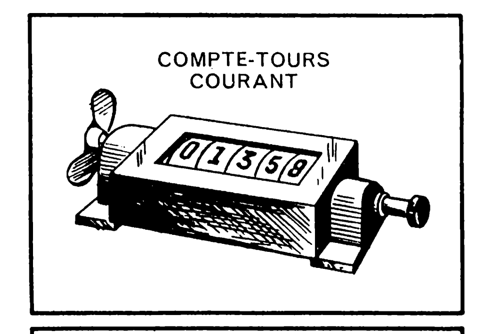
Ce système d'engrenages peut être facilement transformé en un compteur qui indiquera le nombre de tours effectués par un axe. Pour réaliser cette transformation, il suffit de fixer à chaque grand engrenage un disque sur le bord duquel figurent les nombres 0 à 9. La lecture du compteur peut être simplifiée par l'addition d'une plaque comportant une fente qui expose seulement le nombre situé en position supérieure. Ainsi, un tour de l'axe A se traduira, pour le grand pignon fixé sur l'axe B, par un mouvement d'un dixième de tour; le chiffre 0 du disque s'éloignera de la position qu'il occupait précédemment, et le chiffre 1 apparaîtra dans la fente d'affichage. Si l'axe A effectue cinq rotations, le chiffre 5 apparaîtra au cadran d'affichage. L'addition de nouveaux pignons et de leurs disques, et l'agrandissement de la fente d'affichage permettront de disposer d'un compte-tours qui indiquera le nombre de rotations effectuées par un axe. Pour utiliser ce compte-tours, il suffit de placer un disque en caoutchouc ou d'un matériau résistant au frottement à l'extrémité de l'axe A, et de s'assurer ensuite que ce disque exerce une pression suffisante sur le centre d'un axe rotatif quelconque. Ce montage permettra de compter le nombre de rotations effectuées pendant un laps de temps qui sera déterminé par l'opérateur.

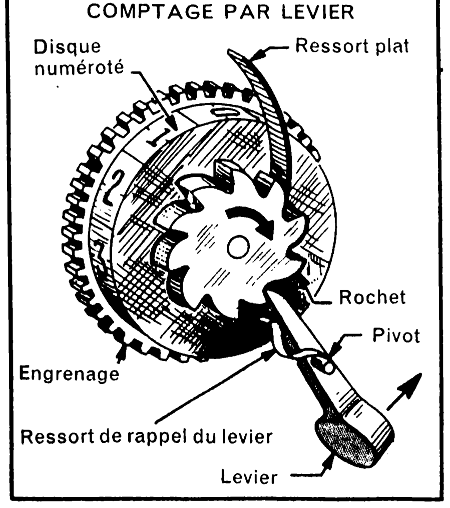
Une amélioration pratique de ce compteur peut être obtenue par l'utilisation d'un montage plus complexe d'engrenages; ce montage se traduira par une disposition côte-à-côte des disques numérotés. Un grand nombre de disques peut alors être inclus dans un dispositif pratique de taille réduite qui peut être remis à zéro à l'aide d'un bouton supplémentaire de réenclenchement.

Ce montage peut maintenant être facilement transformé en un dispositif convenant pour la mesure de longueurs de fil textile, de fil conducteur, de barres, de tubes et d'autres produits qui sont fabriqués en continu. Pour effectuer ce type de mesure, il suffit de fixer un disque à l'extrémité du compteur et d'appuyer le bord de ce disque contre la surface du matériau qui se déplace. Si la circonférence du disque mesure un centimètre, chaque centimètre de matériau va provoquer une rotation complète de l'axe; l'indication du compteur exprimera le nombre de centimètres de matériau qui sont passés au point où est effectuée la mesure. En utilisant des disques de circonférence adéquate, le compteur peut mesurer des centimètres, des mètres, ou toute autre unité de longueur choisie.

Une des plus importantes applications des compteurs consiste à indiquer le nombre d'unités distinctes de produit qui ont été fabriquées. Le dispositif de comptage qui a été décrit peut être modifié de façon à avancer son affichage d'une unité lors de chaque dépression d'un levier. Cette modification est représentée sur le schéma simplifié; elle consiste à enlever l'engrenage et l'axe d'entrée et à ajouter un levier et un rochet à dix dents au premier disque numéroté. Chaque pression exercée sur le levier se traduit par un déplacement du rochet; ce déplacement est celui qui correspond à une dent. Un ressort ramène le levier à sa position de repos lorsque la pression n'est plus appliquée; et un simple ressort plat empêche le rochet d'être ramené à sa position initiale pendant le retour du levier.

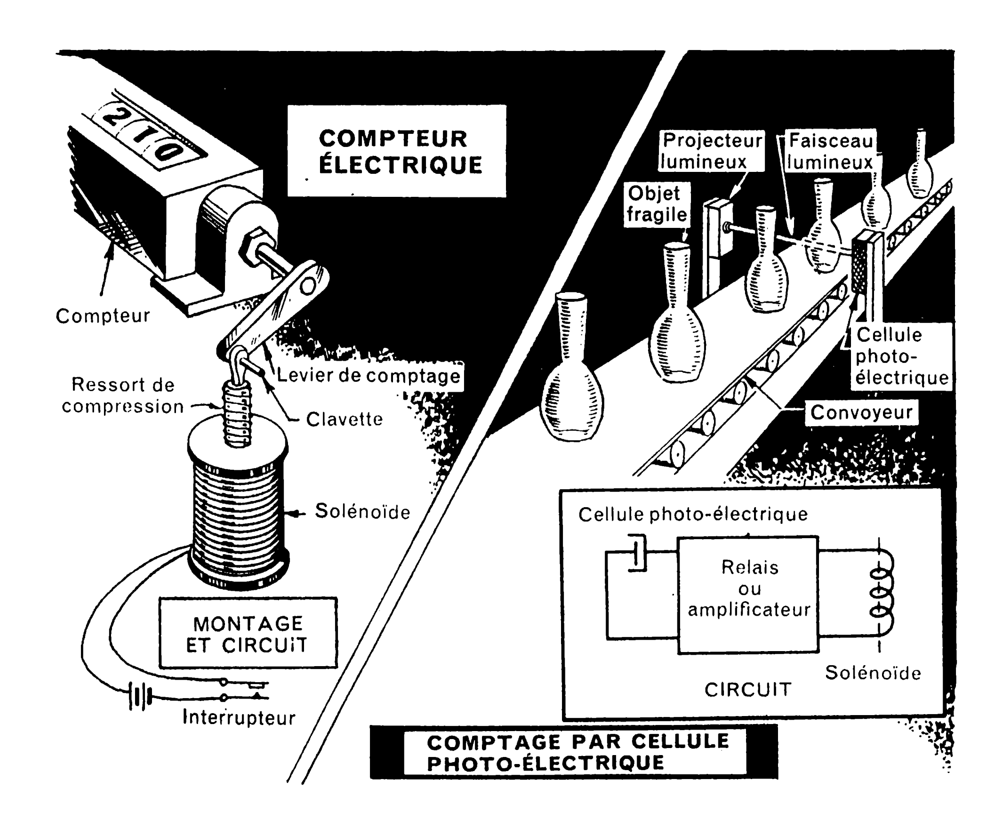
Un compteur à entraînement par levier peut être utilisé par montage à côté d'un convoyeur qui transporte des produits en provenance des chaînes de fabrication et des appareils de vérification. Chaque unité de produit qui franchit le point de mesure appuie sur le levier et fait enregistrer une unité par le compteur.



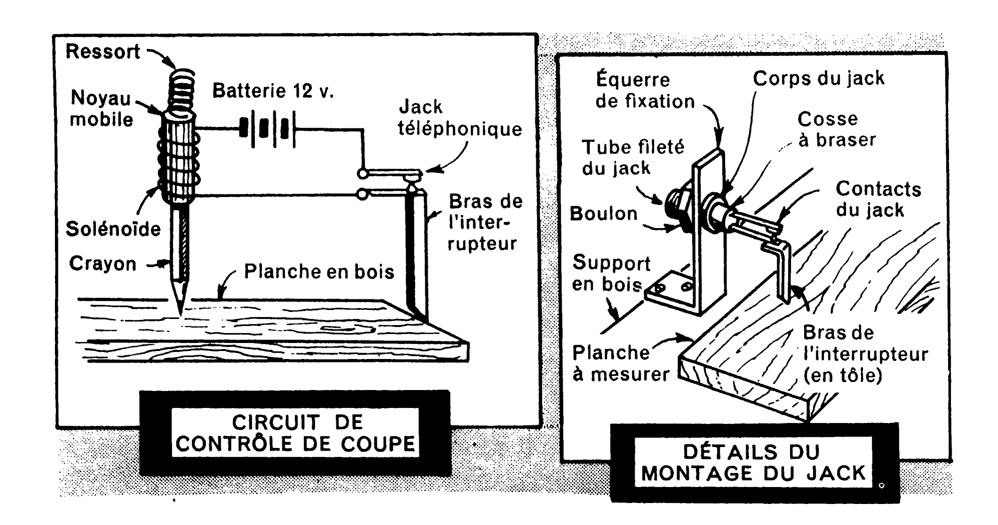


Les compteurs électriques sont utiles lorsque l'on désire disposer d'un panneau d'affichage central qui indique simultanément des comptages importants effectués dans les diverses parties de l'entreprise. Pour transformer un compteur à entraînement par levier en un compteur électrique, il suffit d'utiliser un solénoïde. Le solénoïde est fixé au levier, et il tire ce levier chaque fois que les contacts de l'interrupteur sont fermés par le passage d'une unité de produit. Lorsque les contacts de l'interrupteur s'ouvrent dans l'intervalle qui sépare le passage de deux unités successives, le solénoïde est désexcité, et le ressort ramène le levier dans sa position de repos. Dans cette utilisation, seuls les contacts de l'interrupteur doivent être montés à proximité du système convoyeur. Les compteurs peuvent être situés sur un panneau d'affichage dont l'emplacement est commandé par des considérations pratiques.

L'excitation du solénoïde d'un compteur électrique peut être effectuée par une cellule photo-électrique qui remplace l'interrupteur précédemment utilisé. Le schéma montre cette utilisation. Un faisceau lumineux est émis d'un côté du convoyeur, il traverse ce dernier pour venir frapper une cellule photo-électrique. La cellule photo-électrique engendre, par l'intermédiaire d'un amplificateur, un courant suffisant pour actionner le solénoïde du compteur. Cette technique présente un avantage par rapport à celle qui utilise les contacts d'un interrupteur; elle convient mieux pour le comptage d'objets fragiles, petits, de dimensions ou de formes non uniformes placés sur un convoyeur.



CONTRÔLE DE FABRICATION ET VÉRIFICATION DU PRODUIT — EXPÉRIMENTATION



Cette expérience est destinée à vous permettre de voir le fonctionnement de certains des dispositifs de contrôle de fabrication et de vérification du produit auxquels cette section était consacrée. Les principaux éléments nécessaires sont représentés sur les figures; la préparation et le déroulement de ces expériences sont expliqués dans les paragraphes suivants.

Pour la première expérience, construisez le circuit de contrôle de coupe du premier schéma. Ce circuit est pratiquement le même que celui que nous avons étudié, à l'exception, toutefois, du ressort et du crayon qui remplacent l'outil de coupe, le frein et l'embrayage. Pour faciliter le montage et l'observation du fonctionnement du circuit, nous suggérons d'utiliser un jack téléphonique comme interrupteur. Ces jacks sont disponibles sous forme de modèles presque identiques à celui qui apparaît sur le schéma, et le mouvement des contacts est très facile à observer. Un bras d'interrupteur adéquat peut être fait en brasant ou en collant une pièce métallique en forme de L, à l'emplacement montré par le schéma. L'interrupteur peut être monté sur une pièce métallique qui a été percée pour recevoir la partie filetée du jack, et la fixation peut être faite à l'aide du boulon qui se trouve sur la partie filetée. Les connexions électriques aux éléments de l'interrupteur sont faites par un brasage effectué aux cosses du jack.

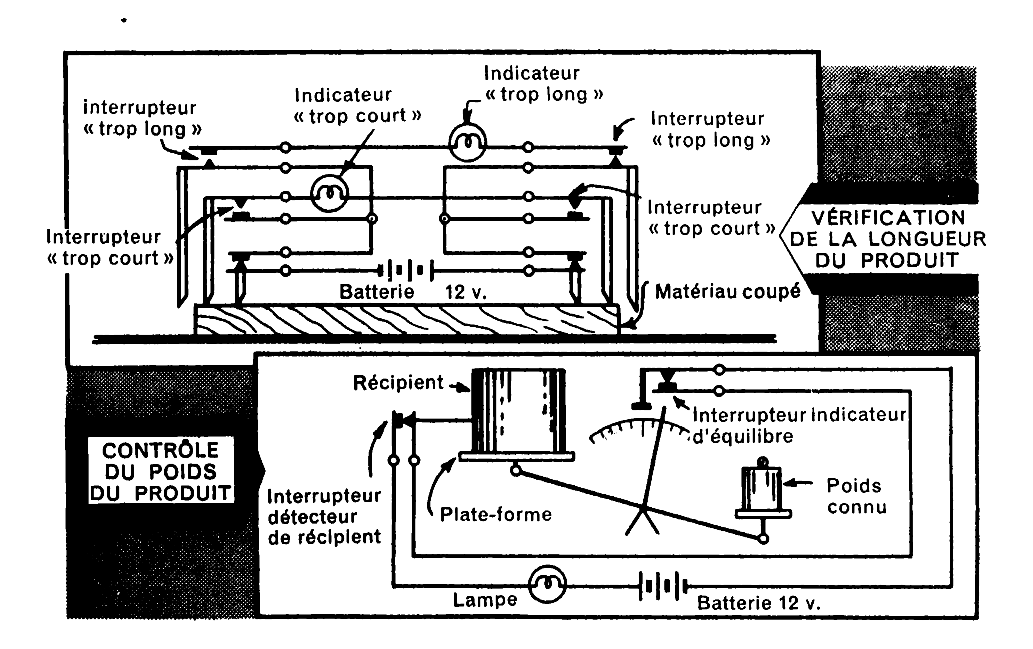
Pour faire fonctionner ce circuit, glissez lentement votre planche le long de la table, en l'approchant de l'interrupteur. Lorsque l'extrémité coupée touche le bras de l'interrupteur, elle excitera puis désexcitera le solénoïde. Il en résultera une marque de crayon sur la planche, à l'endroit où il y aurait eu coupure si l'on avait utilisé une scie. Recommencez cette expérience lentement de manière à pouvoir bien observer le mouvement des contacts de l'interrupteur et sa relation avec le fonctionnement du solénoïde.

Éloignez l'interrupteur du solénoïde et répétez l'expérience. Vous verrez que maintenant, la marque est tracée à une distance plus grande de l'extrémité coupée de la planche de bois. Recommencez l'expérience en faisant varier la distance qui sépare l'interrupteur et le solénoïde, afin de constater que n'importe quelle longueur peut être coupée, selon les besoins.

Pour la seconde expérience, construisez le circuit de vérification de longueur du produit; ce circuit figure sur le schéma. Notez que le schéma représente, à chaque extrémité de la longueur coupée, les divers interrupteurs comme s'ils étaient situés à diverses hauteurs, et comme s'ils étaient munis de bras de différentes longueurs. Le schéma est, en effet, simplement destiné à montrer le fonctionnement des contacts des interrupteurs. En réalité, les trois interrupteurs qui sont placés à chaque extrémité peuvent être montés côte-à-côte et à la même hauteur. Les bras d'interrupteurs destinés à ouvrir et à fermer les contacts peuvent être réalisés en brasant ou en collant des pièces métalliques pliées (comme dans l'expérience précédente).

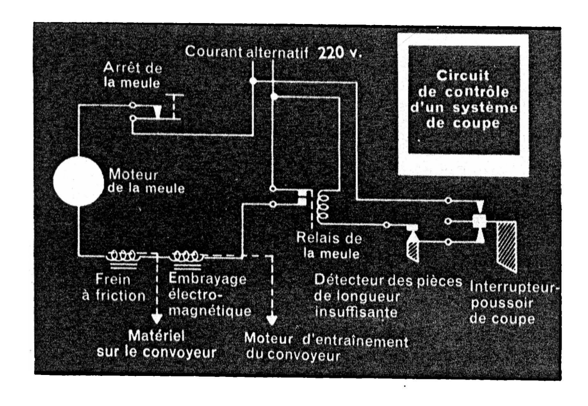
Pour faire fonctionner le circuit, choisissez trois petits madriers de longueurs légèrement différentes. Ajustez la distance qui sépare les montages d'interrupteurs de manière que le madrier de longueur intermédiaire s'adapte entre les contacts des interrupteurs, comme le montre le schéma. Maintenant, glissez les planches sur la table de façon qu'elles arrivent sous les contacts. Vous verrez que le madrier intermédiaire n'allume pas les indicateurs lumineux, tandis que les deux autres madriers allument respectivement les indicateurs lumineux « trop long » et « trop court ».

Pour la troisième expérience, construisez le montage de contrôle de poids représenté sur le dernier schéma. Les interrupteurs sont les mêmes que ceux qui ont été utilisés pour la deuxième expérience. L'un de ces interrupteurs est monté de manière à être ouvert par l'aiguille indicatrice de la balance lorsque celle-ci est en position d'équilibre. L'autre interrupteur est fermé lorsqu'une boîte en carton est placée sur le plateau gauche de la balance. Pour plus de simplicité, ce montage ne comprend pas de trappe automatique; pour remplacer l'action de la trappe, vous verserez du sable dans la boîte en carton, en respectant une allure lente mais régulière. Ne versez pas le sable lorsque la lampe est éteinte; vous devez commencer à verser le sable lorsque la lampe s'allume, et vous arrêter dès qu'elle s'éteint. Le cycle de pesée commence dès que la boîte en carton est placée sur le plateau de la balance, et se termine lorsque la lumière s'éteint. Vous vous rendrez compte que, en suivant les indications de la lampe, vous effectuerez une pesée qui sera presque parfaite.

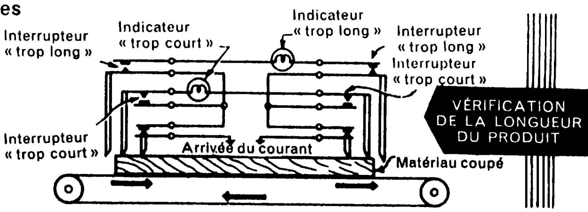


CONTRÔLE DE FABRICATION ET VÉRIFICATION DU PRODUIT — RÉVISION

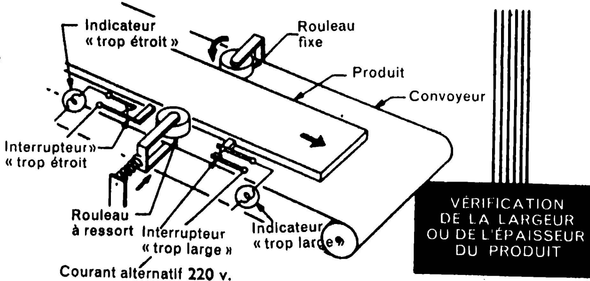
CONTRÔLE DE LA LONGUEUR — Le contrôle de la longueur implique l'alimentation d'un mécanisme de coupe par un matériau à couper, ainsi que la mise en marche du mécanisme de coupe qui effectuera l'opération et réduira le matériau à la longueur voulue. Le contrôle électrique de l'opération est réalisé par l'utilisation d'interrupteurs convenablement placés pour détecter la partie avant du matériau, et assurer l'exécution de la coupe par l'intermédiaire d'un interrupteur.



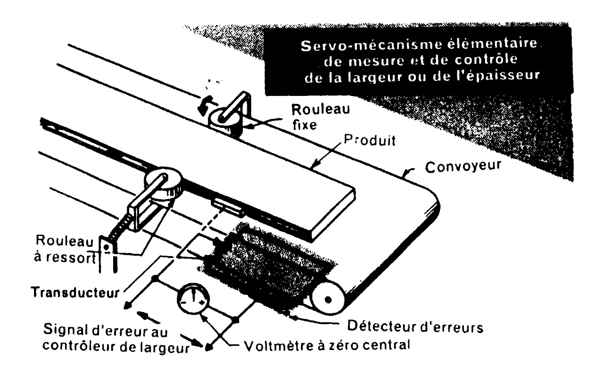
VÉRIFICATION DE LA LONGUEUR — La vérification de la longueur adéquate se fait généralement sur la base d'un choix accepté-non accepté (bon-pas bon). Des groupes d'interrupteurs servent à détecter les parties antérieure et postérieure des pièces coupées. Simultanément, l'excitation des interrupteurs « trop long » ou « trop court » se traduit par le rejet automatique des pièces de longueur non adéquate.



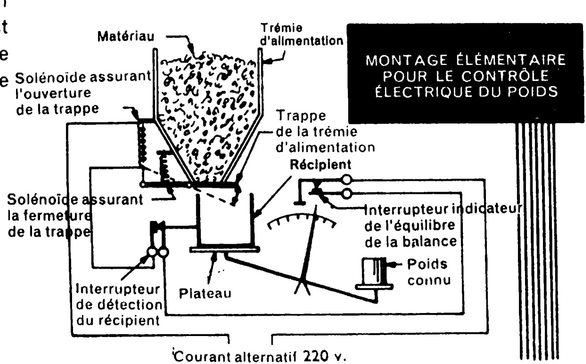
VÉRIFICATION DE LA LARGEUR ET DE L'ÉPAISSEUR — La vérification de la largeur et de l'épaisseur se fait généralement sur une base « bon-pas bon ». Les techniques mises en œuvre sont semblables à celles utilisées pour la vérification de la longueur, à l'exception du fait qu'un bord fixe permet de supprimer un jeu de contacts détecteurs.



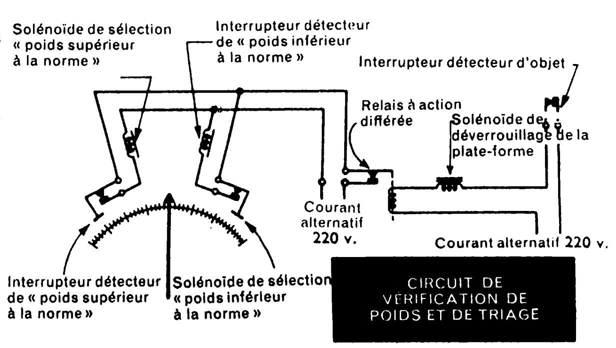
MESURE ET CONTRÔLE DE LA LARGEUR ET DE L'ÉPAISSEUR — La mesure de la largeur et de l'épaisseur peut être faite en faisant passer le matériau entre un bord fixe et un transducteur électromécanique convenablement placé. Un voltmètre à zéro central indique la largeur en plus ou en moins de la dimension voulue. Le contrôle peut être réalisé par la connexion du transducteur à un servo-mécanisme qui règle la position du mécanisme de coupe ou de mise en forme.



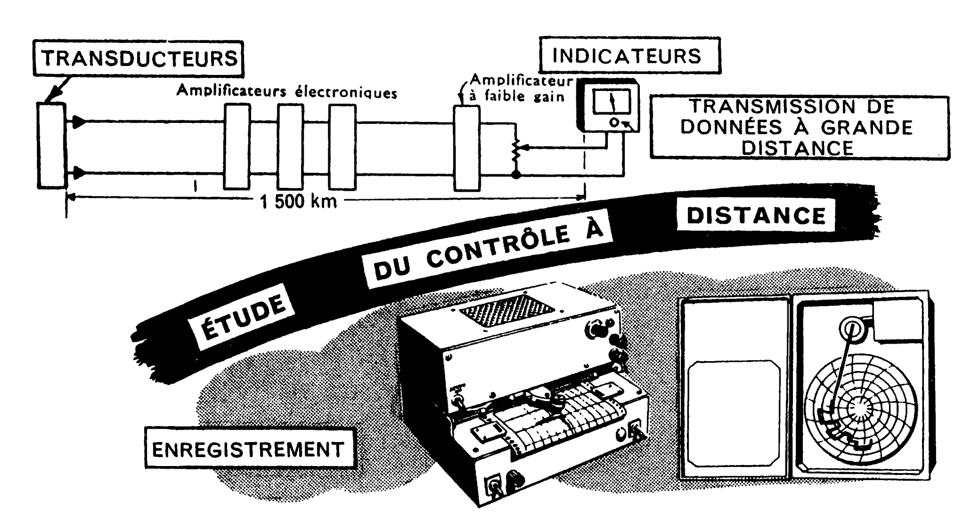
CONTRÔLE DU POIDS — Le contrôle électrique du poids du produit est effectué à l'aide d'un interrupteur détecteur d'équilibre ou d'un transducteur excité par la plate-forme de pesage. Lorsque le poids est faible, le mécanisme d'alimentation en matériau est mis en marche. Lorsque le poids désirable est atteint, le système d'alimentation ne débite plus de nouvelles quantités de matériau.



VÉRIFICATION DU POIDS DU PRODUIT — Cette opération se fait généralement sur la base déjà citée de « bon-pas bon ». La plate-forme de pesage est munie d'interrupteurs de détection de « poids supérieur à la norme » et de « poids inférieur à la norme ». Pour les produits dont le poids correspond à la norme fixée, aucun des interrupteurs n'est fermé, et le produit est automatiquement accepté.



TÉLÉCOMMANDE ET TÉLÉMESURE



Dans la plupart des équipements électriques que vous connaissez, les divers cadrans indicateurs sont proches de l'endroit où sont effectuées les mesures. Cependant, dans les complexes industriels de grandes dimensions, par exemple les entreprises du secteur chimique, les raffineries, les réseaux de pipelines, les centrales et réseaux de distribution de l'énergie électrique, etc., il est souvent nécessaire (et souhaitable) de disposer d'un tableau central indicateur et de contrôle à partir duquel toutes les mesures importantes peuvent être commandées, surveillées, et enregistrées si nécessaire.

Le processus de transmission d'informations à des distances allant de quelques dizaines de mètres à des milliers de kilomètres s'appelle la « télémétrie » ou « télémesure ». Bien que des mesures soient parfois transmises sur des petites distances par des systèmes hydrauliques et pneumatiques, la plupart des opérations de télémesure à faible distance, et toutes les opérations de télémesure à grande distance sont effectuées à l'aide de techniques électriques et électroniques. Les techniques de synchronisation envisagées dans le cadre de la section 5 offrent des exemples de télémesure, mais elles sont généralement utilisées pour les transmissions à des distances de l'ordre de quelques kilomètres.

Au cours des sections précédentes, vous avez pu faire connaissance avec un certain nombre de dispositifs appelés **transducteurs** (1). Ces appareils sont utilisés pour transformer des informations concernant la position, le poids, le mouvement, la pression, le débit d'un fluide, la température, etc., afin de les mettre sous forme de signaux électriques. Dans cette section, vous allez apprendre les techniques élémentaires qui peuvent être utilisées pour transmettre ces signaux électriques sur de longues distances, et ce sans perte ni distorsion de l'information. Vous verrez également comment ces signaux peuvent être affichés et enregistrés de manière continue, sous une forme utile. Comme dans la section 5, l'amplificateur électronique sera mentionné, mais son fonctionnement ne sera pas expliqué dans le cadre du présent ouvrage. À nouveau, vous devez considérer que l'amplificateur est une « boîte noire » dans laquelle entrent des signaux basse fréquence, et d'où sortent les mêmes signaux considérablement amplifiés, en amplitude et en puissance.

Les techniques de télémesure qui seront exposées dans cette section sont limitées à celles que vos connaissances en électricité vous permettent de comprendre. Des techniques plus complexes sont également utilisées. Mais, pour les assimiler, il est indispensable de bien connaître certains principes élémentaires d'électronique.

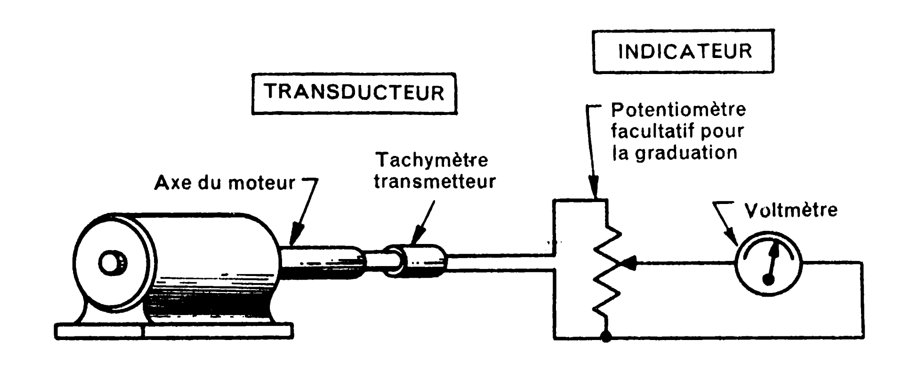
(1) Transducteur est compris comme tout système électrique capable de transmettre un signal de contrôle à partir d'une variation physique.

PROBLÈMES DE LA TRANSMISSION DES SIGNAUX ÉLECTRIQUES

Tous les transducteurs électriques que vous avez eu l'occasion d'étudier transforment une caractéristique physique en un signal qui est une tension ou un courant variable. Pour traduire cette tension ou ce courant en une information concernant la caractéristique étudiée, il suffit de transmettre ce signal à un appareil de mesure électrique convenable, et de graduer l'échelle du cadran à l'aide des unités de mesure correspondant au renseignement que l'on souhaite obtenir.

Par exemple, supposons qu'un tachymètre transmetteur et un voltmètre sont montés de manière à mesurer la vitesse de rotation de l'axe d'un moteur. Lorsque l'axe est immobile, le voltmètre indique zéro; en accroissant progressivement la vitesse de l'axe, l'aiguille indicatrice du voltmètre se déplace sur la cadran gradué, et indique des valeurs de plus en plus élevées. La détermination exacte de la vitesse de rotation de l'axe peut être effectuée par des moyens purement mécaniques. Il en résulte que l'axe peut tourner dans une vaste gamme de vitesses et, pour chaque vitesse connue, l'aiguille indicatrice du voltmètre se placera à un point bien déterminé du cadran. Chacune de ces positions de l'aiguille peut alors être repérée à l'aide d'un nombre qui correspond à la vitesse connue de rotation de l'axe pour cette position. Le tachymètre et son voltmètre peuvent être reliés à n'importe quel axe rotatif; on peut alors lire directement le nombre de tours / minute de l'axe. De temps en temps des vérifications doivent être faites; elles permettent de contrôler la précision de la lecture et de modifier éventuellement les marques de l'échelle. Si l'on souhaite effectuer des mesures de grande précision sans avoir à refaire l'échelle, bien qu'en effectuant les réglagles nécessaires, la graduation peut être faite avec un potentiomètre monté entre le tachymètre et le voltmètre. Ainsi pour toute vitesse de rotation adéquate, le potentiomètre peut être réglé jusqu'à ce que l'indication de l'aiguille corresponde à la vitesse connue de l'axe.

En utilisant des techniques semblables, la sortie d'un transducteur électrique quelconque peut être calibrée directement en unités adéquates quelconques. Le montage est très simple et très direct lorsqu'il n'y a qu'une faible distance entre le transducteur et l'appareil de mesure de son signal de sortie, car les pertes de signal dues à la résistance des fils de connexion sont très faibles, et peuvent être compensées dans la graduation de l'appareil de mesure de la sortie.

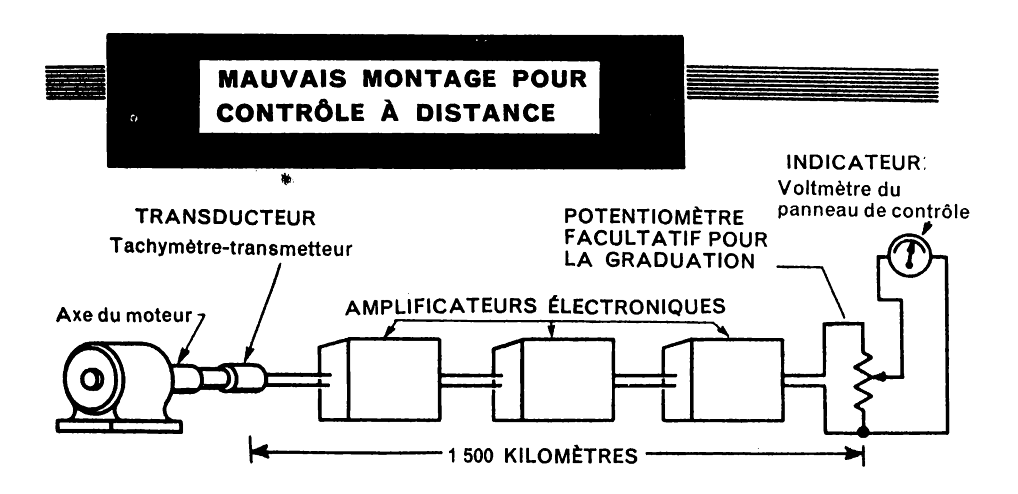


MONTAGE D'ÉTALONNAGE À TACHYMÈTRE

Cependant, de nombreux problèmes se posent lorsque le transducteur et l'appareil servant à mesurer son signal de sortie sont à une grande distance l'un de l'autre. Dans ces conditions, les pertes dues à la résistance des fils de connexion sont extrêmement élevées. En utilisant un ou plusieurs amplificateurs électroniques en divers points des fils de connexion, il est possible d'amplifier le signal qui parvient à l'appareil de mesure afin qu'il atteigne un niveau convenable. Cependant, un montage de ce type ne peut utiliser avec une bonne précision les techniques de graduation décrites; en effet, le gain des amplificateurs n'est pas entièrement stable sur de grandes périodes de temps, et il y a toujours la possibilité d'interférences électriques qui modifieront le niveau du signal dans des proportions inconnues.

Il existe une technique élémentaire et sûre qui permet de surmonter les difficultés inhérentes à la transmission de signaux électriques de mesure sur de grandes distances, par l'intermédiaire de fils de connexion. Cette technique implique la transmission périodique d'un signal de référence en même temps que le signal de mesure.

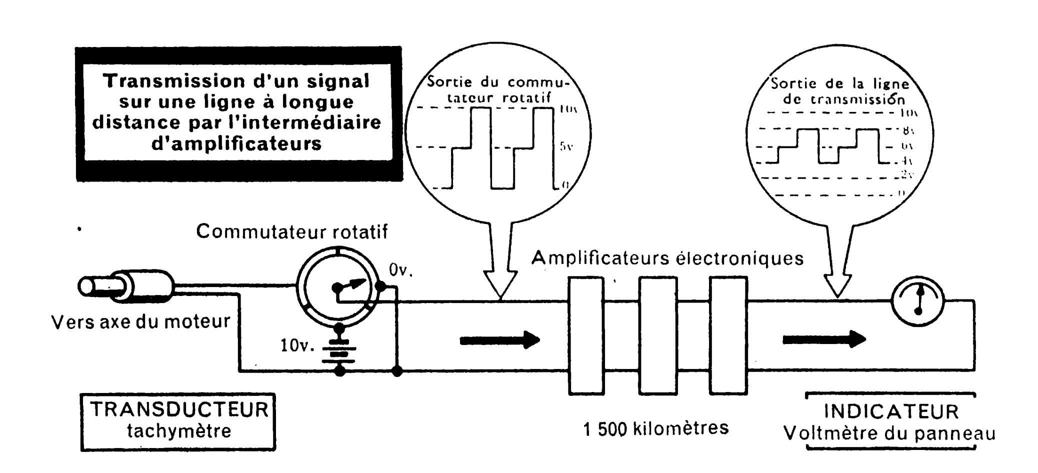
Supposons que l'on désire surveiller la vitesse d'un axe rotatif situé à une grande distance. (N'importe quelle autre condition physique pourrait être choisie, les techniques demeureraient les mêmes.) Pour mesurer la vitesse d'un axe rotatif par des moyens électriques, la technique la plus simple consiste à relier cet axe à un tachymètre à sortie électrique. Ensuite, des fils de connexion très longs servent à relier le tachymètre au potentiomètre d'étalonnage et au voltmètre du panneau de contrôle. En outre, un nombre adéquat d'amplificateurs électroniques est connecté aux fils pour assurer que le signal qui arrive au panneau de contrôle est suffisant pour provoquer un déplacement de l'aiguille indicatrice du voltmètre sur toute son échelle lorsque l'axe tourne à sa vitesse maximale. Pour l'exemple étudié, supposez que, lorsque le système est monté, l'appareil de mesure du panneau de contrôle a une indication de 10 volts (échelle complète) pour une vitesse de l'axe de 1 000 tours / minute et de 0 volt lorsque l'axe est à l'arrêt. Supposez également que le système est linéaire; il en résulte que, chaque volt de l'échelle de lecture indique une vitesse de l'axe de 100 tours à la minute. Dans ces conditions, en la multipliant par 100, chaque indication de l'échelle du voltmètre peut être convertie en une indication de la vitesse de l'axe.

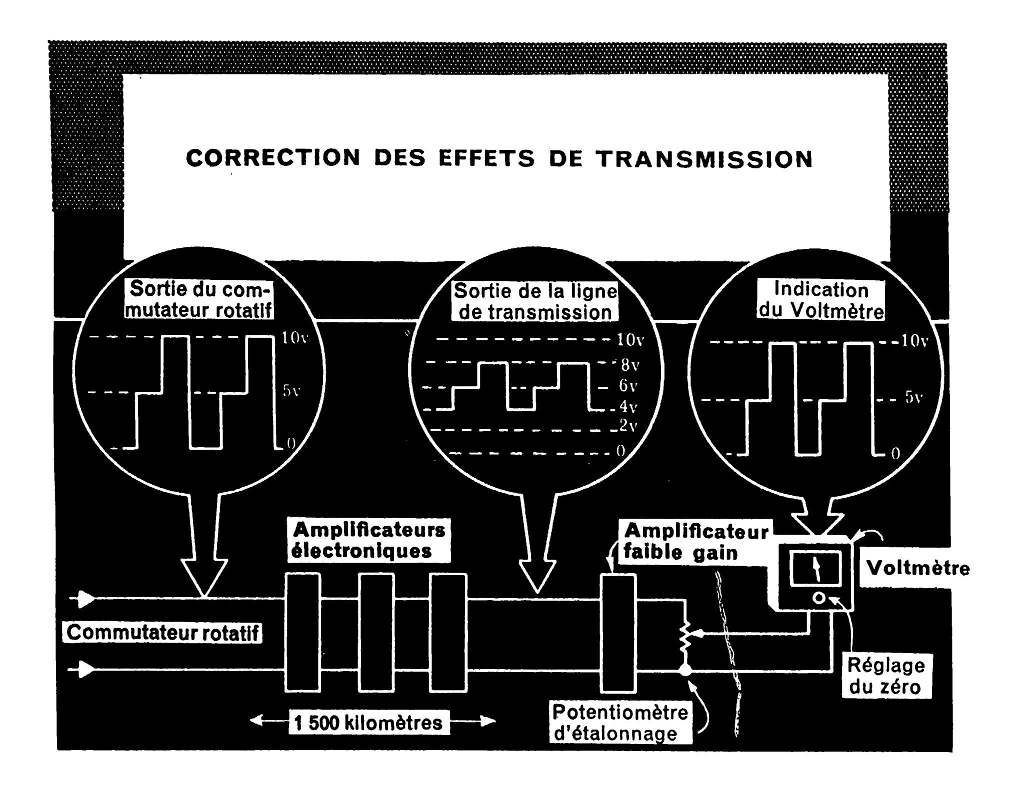


Ces conditions de fonctionnement seraient entièrement satisfaisantes si le gain d'amplification était toujours stable, et s'il n'y avait pas de perturbations dans les fils de connexion. Cette instabilité fait que pour une vitesse constante de l'axe et de 1 000 tours à la minute, par exemple, l'appareil indicateur sur le panneau de contrôle peut donner des indications variables : de 100 tours / minute ou moins jusqu'à des indications tellement élevées que l'aiguille indicatrice se trouvera bloquée en fin de course. Par contre, si les conditions des amplificateurs et des fils de connexion étaient complètement stables, des changements effectifs de la vitesse de l'axe rotatif seraient à l'origine de toutes les variations observées sur l'appareil de surveillance. Or dans des conditions instables, il est normalement impossible d'interpréter les variations observées dans les indications de l'appareil de mesure du panneau de contrôle.

L'utilisation de signaux de référence permet de passer d'une situation non significative à une situation à la fois significative et susceptible de donner des indications précises. Comme le montre le schéma, ceci peut être réalisé à l'aide de quelques modifications simples. La première modification consiste à installer un système de commutation à proximité du tachymètre de l'axe. Un montage simple peut être réalisé avec un commutateur rotatif à trois positions dont le pôle de commutation est actionné par un moteur à faible vitesse et un système d'engrenages. Le tachymètre est connecté à l'un des contacts du commutateur, une source de tension précise de 10 volts est connectée à un autre des contacts du commutateur, et le troisième contact est court-circuité (voir le schéma). Ainsi, lorsque le pôle de commutation tourne lentement, le signal d'entrée qui est transmis par les fils de connexion est d'abord nul (0 volt), puis de 10 volts, et ensuite correspond à la tension de sortie du tachymètre (par exemple, 5 volts pour 500 tours / minute). Cette suite de tensions est répétée lentement et de manière continue.

Au poste de contrôle, on sait que la station émettrice transmet cette séquence bien déterminée de signaux. Les conditions des lignes de transmission et des amplificateurs ne revêtent alors pratiquement aucune signification dans la mesure où ces composants peuvent transmettre les signaux d'entrée. Ainsi, l'appareil indicateur du poste de contrôle peut afficher une série de tensions qui se succèdent lentement, par exemple 4, 8, 6, 4, 8, 6, 4, 8, 6, etc. Sachant que 4 correspond à l'arrêt de l'axe (0 tour / minute), et que 8 correspond à 1 000 tours / minute, il n'est pas nécessaire d'être un mathématicien averti pour déterminer que l'axe surveillé tourne à une vitesse de 500 tours / minute.





Il est également possible que les indications de l'appareil de mesure soient exprimées directement en tours / minute, et ceci en dépit du fait que les tensions qui arrivent à cet appareil sont 4, 8 et 6 au lieu de 0, 10 et 5. Pour ce faire, la technique employée consiste à connecter un potentiomètre d'étalonnage et un amplificateur faible gain entre la sortie des fils de connexion et l'appareil de mesure (voir le schéma). L'appareil de mesure doit avoir un réglage de zéro important. Le gain d'amplification doit être suffisamment élevé pour que le signal de référence le plus faible pour 10 volts puisse être élevé à un niveau d'au moins 10 volts entre les bornes de l'appareil de mesure.

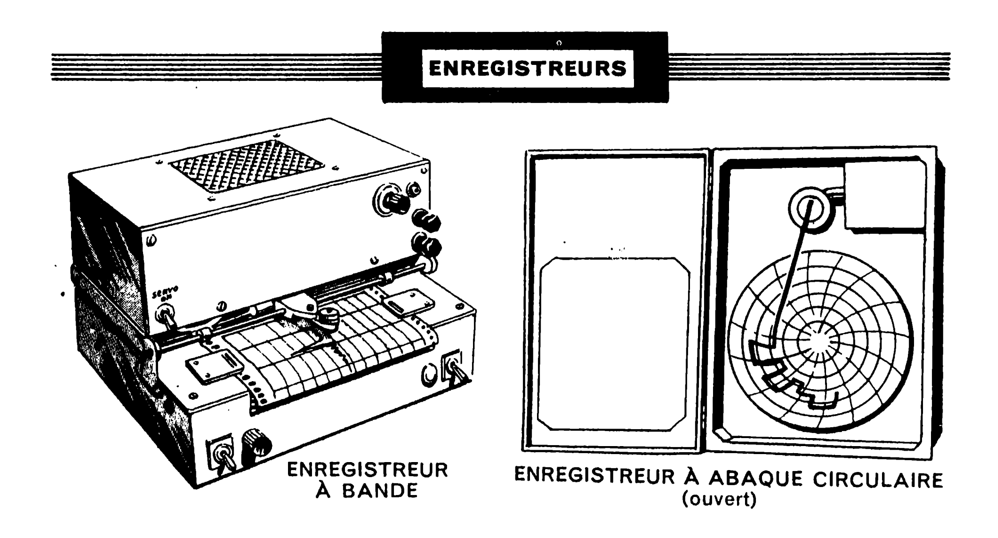
La méthode de graduation de l'appareil de mesure est très simple. Une série de signaux de référence 0 volt est observée, et le réglage du zéro de l'appareil de mesure est modifié jusqu'à ce que l'aiguille indicatrice soit à zéro volt chaque fois qu'un de ces signaux est transmis. Ensuite, le potentiomètre est ajusté jusqu'à ce que le signal de référence de 10 volts se traduise par une indication de 10 volts sur le cadran du voltmètre du panneau de contrôle. Souvent, ces résultats ne sont obtenus qu'à l'aide de plusieurs réglages. Le troisième signal qui apparaît sur le cadran du voltmètre, c'est-à-dire le signal du tachymètre, peut alors être lu directement en tours / minute de l'axe. Avant d'effectuer une lecture de la vitesse de l'axe, il faut s'assurer que les valeurs de référence (0 et 10 volts) sont indiquées avec précision sur le voltmètre du panneau de contrôle. Si cette lecture n'est pas concluante, cela indique des modifications dans les fils de connexion ou dans les amplificateurs; les réglages décrits doivent être refaits.

ENREGISTREURS À ABAQUES

Dans de nombreux cas de mesures effectuées dans l'industrie, il est important de conserver des enregistrements des relevés effectués par l'intermédiaire de transducteurs de contrôle proches ou éloignés. Lorsqu'un grand complexe industriel fonctionne normalement, ces enregistrements sont particulièrement précieux car ils permettent la localisation des causes de variations; et ils sont particulièrement importants lorsqu'un complexe de ce type est mis en marche pour la première fois, ou encore lors du déroulement de processus expérimentaux. Des instruments électroniques disponibles dans le commerce sont utilisés à cette fin, on les appelle des « enregistreurs ». Il en existe un grand nombre de types, mais les plus utilisés contiennent tous les mêmes éléments principaux : un amplificateur électronique, un style enregistreur, un dispositif d'entraînement ou organe moteur du style, une feuille de papier quadrillé ou un abaque en papier avec des graduations, et un système moteur servant à l'entraînement de l'abaque.

Le schéma représente deux enregistreurs très utilisés. L'abaque peut être circulaire ou revêtir la forme d'une bande large qui est déroulée à partir d'un rouleau porteur situé à l'intérieur du dispositif. Un dispositif électromécanique déplace l'abaque sous le style, et ce dernier laisse une trace sur le papier.

Des signaux électriques d'entrée sont amplifiés et utilisés pour faire fonctionner un appareil de mesure ou un servo-moteur. Lorsque l'on utilise le mouvement de l'aiguille indicatrice d'un appareil de mesure, il s'agit souvent d'un appareil à zéro central, et le style est alors fixé à l'aiguille indicatrice de cet appareil. Au fur et à mesure des variations d'amplitude du signal électrique d'entrée, le style est déplacé sur le papier de l'abaque. Le tracé ainsi réalisé sur le papier fournit un enregistrement permanent du signal de sortie du transducteur de contrôle. L'amplificateur est doté de systèmes de contrôle permettant d'ajuster l'amplitude du mouvement du style, de façon que l'on puisse faire correspondre les signaux de référence avec n'importe quelles marques du papier de l'abaque. Ceci transforme effectivement l'enregistrement du style en un oscillogramme à lecture directe exprimé à l'aide de toute unité choisie. Et outre, si les conditions des amplificateurs et des fils de transmission des signaux venaient à changer, la présence de marques de référence sur le papier de l'abaque fournit toujours une base permettant de mesurer le signal intéressant.

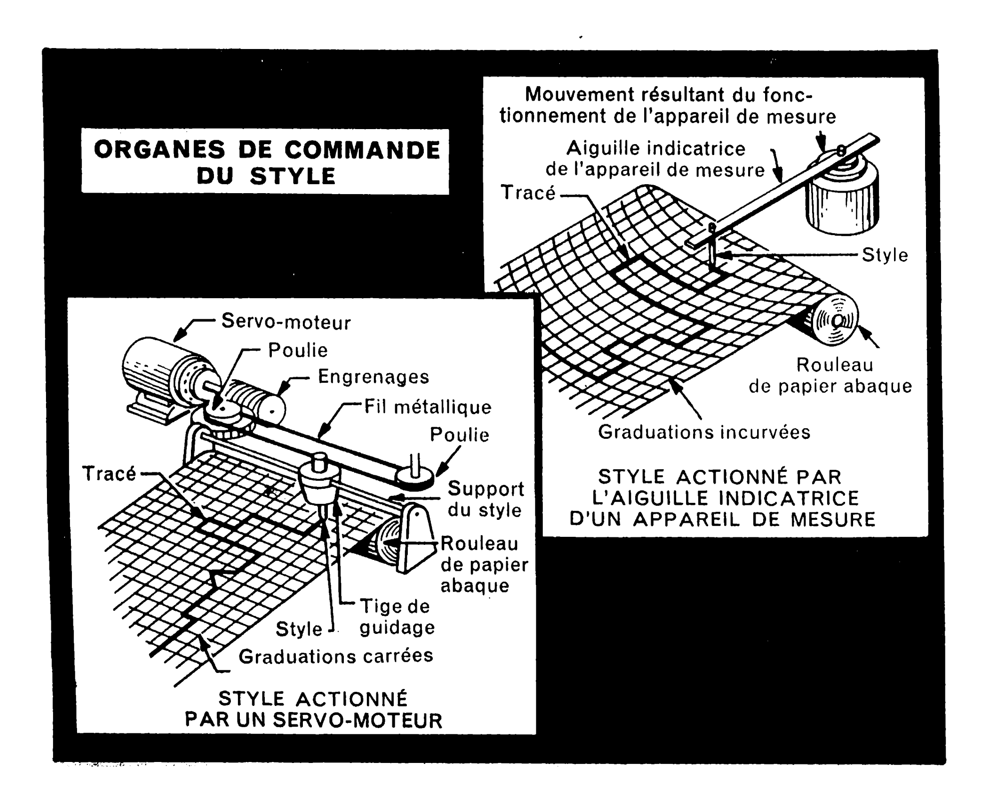


ENREGISTREUR À BANDE

ENREGISTREUR À ABAQUE CIRCULAIRE (ouvert)

Parfois, et surtout dans les enregistreurs à bande, on utilise un servomoteur à la place d'un appareil de mesure. Dans ce système, le style est actionné par le servomoteur par l'intermédiaire d'un montage d'engrenages et de poulies. Le support du style est monté sur un bras dont la longueur est égale à la largeur du papier de l'abaque, et le style est déplacé sur toute la largeur du papier par un fil d'acier ou de soie monté entre les deux poulies. Ce système fonctionne d'après les principes du servo-mécanisme de positionnement décrit à la section 5, et le déplacement du style correspond à l'amplitude du signal en provenance du transducteur de contrôle. L'avantage de cette méthode par rapport à celle qui utilise le mouvement de l'aiguille indicatrice d'un appareil de mesure réside en ce qu'elle simplifie le problème mécanique de l'entraînement du style sur toute la largeur de l'abaque. On peut alors utiliser un abaque quadrillé. Ce qui permet d'obtenir des résultats plus facilement exploitables que ceux que l'on obtient sur l'abaque incurvé qu'emploient la plupart des techniques qui s'appuient sur l'utilisation d'un appareil de mesure. Le principal inconvénient du servomoteur consiste en ce que le style ne peut être soumis à un mouvement de va-et-vient aussi rapide que celui qui peut lui être imprimé par l'aiguille indicatrice d'un appareil de mesure; il en résulte que, d'une manière générale, des variations rapides d'un signal sont plus facilement enregistrées à l'aide du mouvement de l'aiguille d'un appareil de mesure.

Le schéma montre également un graphique tracé par un style qu'actionne un appareil de mesure. Du fait que le fonctionnement de l'appareil de mesure se traduit par une rotation du bras du style autour d'un axe, les mouvements du style apparaissent sous forme de lignes incurvées. Et le canevas du papier est généralement imprimé avec une courbure correspondante; ce qui facilite l'interprétation du tracé obtenu.



Actuellement, on utilise surtout trois types de « styles enregistreurs », il s'agit du style à encre du style normal, et des types « sous tension ». Les paragraphes suivants vont nous permettre d'examiner rapidement ces divers types de styles enregistreurs.

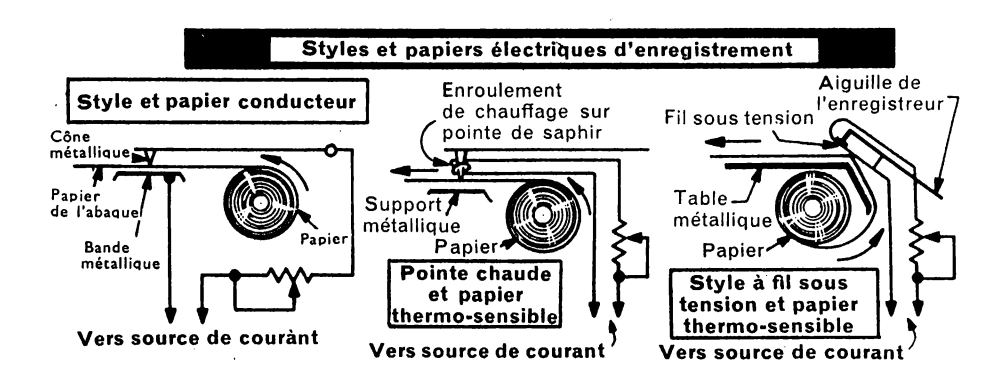
Le fonctionnement des styles à encre est simple : ils déposent une trace d'encre sur le papier qui se déplace sous leur pointe. Il existe de nombreux types de styles à encre, depuis la simple pointe qui ne contient qu'une goutte d'encre, jusqu'aux stylos à bille et aux stylos à encre dotés de réservoirs perfectionnés.

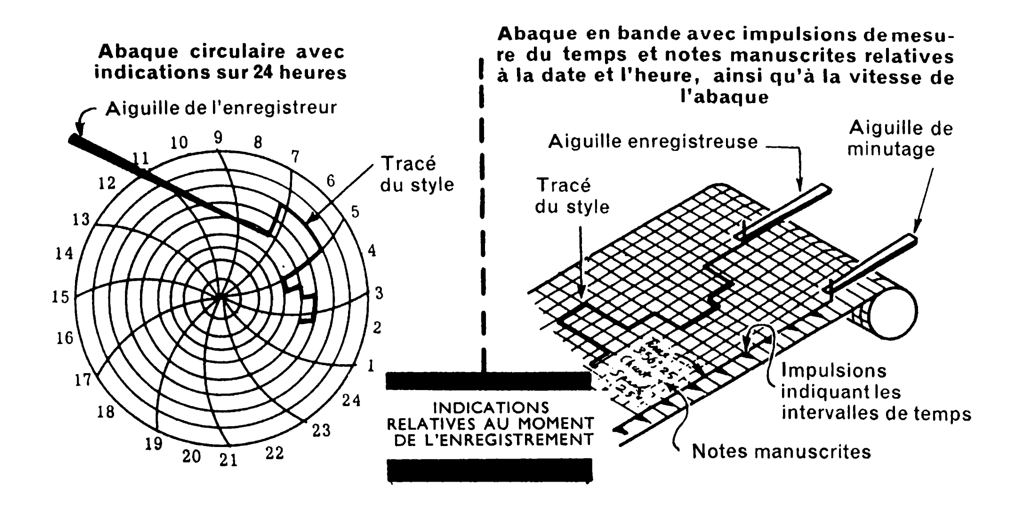
Bien que le principe des styles à encre soit simple, et qu'ils soient faciles à entretenir, leur utilisation s'accompagne toujours d'un risque : ils peuvent « accrocher » et faire des taches. Le style normal supprime tous les problèmes afférents à l'utilisation d'encre. Le style est une simple pièce d'acier ou de saphir en forme de cône. Son action peut être entièrement mécanique; c'est-à-dire que son extrémité peut être utilisée pour gratter un mince revêtement blanc qui se trouve à la surface d'un papier d'abaque de couleur noire, laissant ainsi une ligne noire sur la surface du papier.

Dans un autre type de montage à style, le courant passe de l'extrémité métallique d'un style à travers un papier d'abaque conducteur. La chaleur résultant du passage du courant est utilisée pour faire fondre ou pour brûler une mince couche de matériau blanc déposé sur le papier, ou encore pour provoquer une réaction chimique qui modifie la couleur du papier.

Un troisième type de style consiste en une pointe en saphir autour de laquelle sont enroulées un certain nombre de spires de fil résistif. Le courant fourni traverse une résistance variable, et élève la température de la pointe du style pour qu'il fasse fondre une mince couche de cire blanche sur du papier noir. Dans un autre type de papier d'abaque, une feuille de papier revêtue de cire noire est recouverte par une feuille très mince de papier blanc. La chaleur du style fait fondre la cire qui se trouve entre les deux papiers, et lui permet d'adhérer au papier blanc qui est au-dessus; ce papier blanc se trouve alors muni d'une ligne noire.

Le style enregistreur du type « fil sous tension » fonctionne d'après le même principe que le style à fil résistif. La différence essentielle consiste en ce que le fil à une longueur légèrement supérieure à un centimètre, ce qui permet de l'utiliser avec une aiguille indicatrice d'appareil de mesure (voir le schéma ci-dessous). La surface qui supporte l'abaque se termine par un angle assez grand, et lorsque le fil sous tension se déplace en suivant un mouvement de va-et-vient à l'extrémité de l'aiguille indicatrice, son contact avec le papier est limité à l'endroit où le fil touche l'angle de la surface porteuse de l'abaque. Puisque le fil est assez long, le bras de l'appareil de mesure peut couvrir une ouverture angulaire assez vaste sans perte de contact entre le fil sous tension et le papier abaque. Il en résulte que la trace enregistrée n'est pas incurvée comme elle l'est lorsqu'un style est actionné par l'aiguille d'un appareil de mesure.





Lorsqu'il n'est pas extrêmement important de connaître l'instant précis auquel se produisent les variations du signal électrique, des unités de temps peuvent être imprimées sur le papier qui devra être utilisé avec un système d'entraînement à vitesse bien déterminée. Lorsque l'on commence l'enregistrement, l'abaque est placé de manière que le style repose sur une marque de temps adéquate. On dispose d'abaques circulaires et en tambours qui comportent des marques horaires de 1 à 24, correspondant aux heures d'un jour complet. Des abaques semblables existent avec des marques d'heures et de minutes; ils permettent de couvrir des périodes de douze heures ou moins.

Certains diagrammes d'enregistrement (et surtout les diagrammes en bandes) ne comportent pas d'indication d'heures et de minutes mais sont dotés de marques non identifiées, espacées d'une fraction de pouce ou de centimètre. Le mécanisme d'entraînement de l'abaque peut être réglé de manière à dérouler le papier à une vitesse constante, modérée et connue. Il suffit alors que l'opérateur écrive sur l'abaque l'heure de mise en route de l'enregistrement et la vitesse de déroulement du mécanisme. Ainsi, à n'importe quel moment ultérieur, il peut déterminer l'instant correspondant à n'importe quel point de l'enregistrement en mesurant sa distance à la ligne de départ, et en divisant cette distance par la vitesse du mécanisme d'entraînement. Dans certains cas, le déroulement du processus par rapport au temps doit être connu avec une précision telle que les calculs simplement basés sur la vitesse constante du système d'entraînement ne sont pas suffisamment exacts. La meilleure méthode pour déterminer, dans ces conditions, l'instant exact consiste à enregistrer des marques de temps sur l'abaque. Cet enregistrement est généralement réalisé au moyen d'augmentations et de diminutions rapides de tension; ces variations s'appellent des « impulsions » ou « tops », et sont espacées d'une fraction de seconde l'une de l'autre. Ces impulsions peuvent être superposées à l'enregistrement du signal surveillé, mais dans de nombreux cas, elles peuvent empêcher de bien distinguer les variations de ce signal.

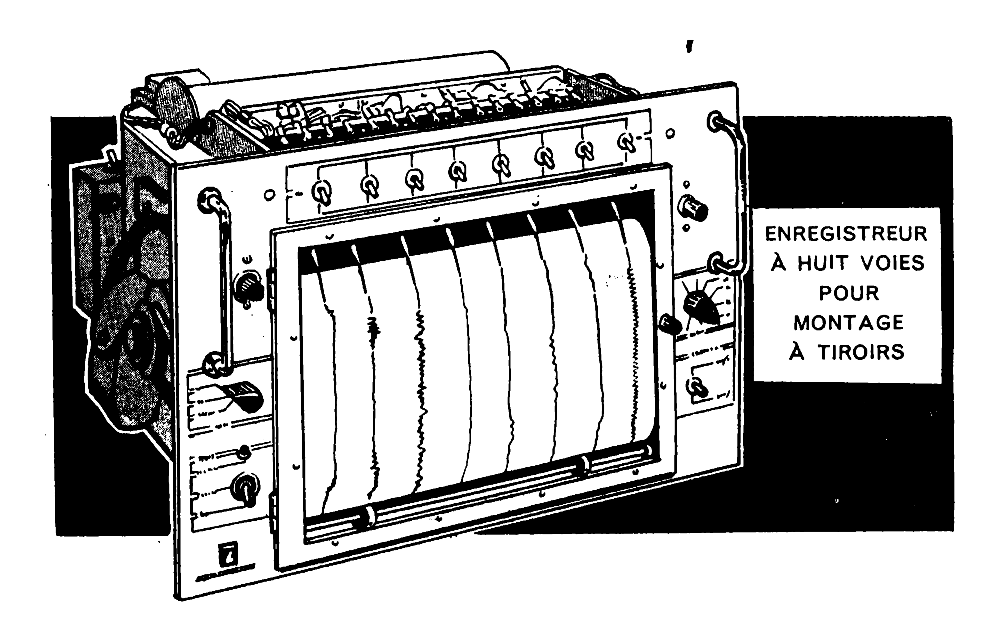
La technique la plus utilisée consiste à ajouter à l'enregistreur un second mécanisme porteur de style et à employer ce mécanisme pour l'enregistrement des impulsions horaires. Pour ce faire, il suffit d'utiliser un amplificateur et un mouvement d'appareil de mesure simples, des petits déplacements du style suffisent alors à bien indiquer la position des impulsions horaires. Les impulsions peuvent être engendrées par un circuit « temporisateur » ou « base de temps » placé dans l'enregistreur, ou encore, être fournies par un système d'horlogerie externe.

Dans de nombreuses opérations industrielles, un certain nombre de signaux doivent être enregistrés simultanément. Cet enregistrement se fait généralement par l'intermédiaire de deux méthodes. Examinons d'abord là première.

La méthode la plus simple consiste à utiliser un enregistreur distinct pour chaque signal. L'inconvénient évident en est le coût élevé du matériel d'enregistrement. De plus, ces appareils exigent de la place non seulement pour eux-mêmes, mais aussi pour la conservation des enregistrements effectués. Et enfin, il est assez difficile d'examiner simultanément plusieurs enregistrements.

De nombreux enregistreurs à bandes, à abaques circulaires ou en tambour peuvent servir à enregistrer un certain nombre de signaux sur les parties adjacentes d'un même papier d'abaque. Chaque signal nécessite son propre amplificateur et son propre mécanisme de style; en revanche, on n'utilise qu'un abaque et qu'un seul mécanisme de déroulement. Si deux signaux doivent être enregistrés simultanément, il s'agit d'une armoire « duplex »; s'il s'agit d'enregistrer simultanément quatre signaux, on aura un enregistreur « quatre voies » ou « quatre canaux », etc. On dispose d'unités pour l'enregistrement de deux, quatre, six signaux et plus sur un seul abaque, et de nombreux enregistreurs de ces types peuvent être montés les uns au-dessus des autres dans un système de casiers ou de tiroirs.

Les enregistreurs à voies multiples (ou « canaux multiples ») ne diminuent pas le coût de l'enregistrement de manière significative. Les seules économies résultent de l'emploi d'une unique carosserie, d'un seul mécanisme de déroulement, et d'un seul dispositif horaire pour tous les canaux d'enregistrement d'une seule unité. Ces économies sont souvent compensées, et au-delà, par le coût plus élevé de la construction très compacte des matériels à voies multiples. La véritable économie vient de l'encombrement réduit de l'unité, et du gain dans l'espace nécessaire à la conservation des abaques. De plus, l'emploi de ce système à voies multiples facilite l'examen simultané de plusieurs enregistrements résultant de signaux différents.

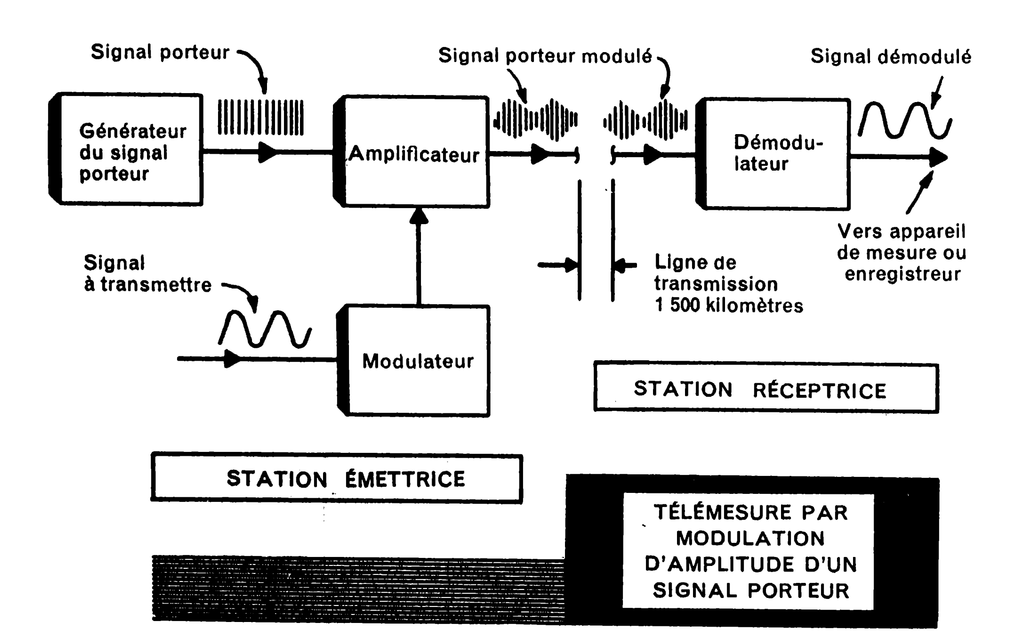


TÉLÉMESURE À VOIES MULTIPLES

Dans la plupart des installations industrielles qui exigent l'emploi de la télémesure, il est souvent nécessaire de transmettre des douzaines ou même des centaines de signaux. La technique apparemment la plus logique serait d'utiliser une ligne de transmission distincte pour chaque signal; en fait, l'installation et l'entretien de ce réseau seraient prohibitifs. La pratique la plus répandue consiste à transmettre un certain nombre de signaux sur la même ligne bifilaire; ceci se traduit par une importante diminution du nombre de lignes nécessaires pour la transmission d'un nombre constant de signaux. Les lignes employées à cet effet sont généralement des lignes téléphoniques dont l'entretien est assuré par la société d'exploitation. Dans certains cas, les signaux sont transmis par les lignes de transport d'énergie, sans qu'il en résulte de parasites dus à l'énergie électrique transmise par les mêmes lignes. Les techniques élémentaires employées pour la transmission de plusieurs signaux sur une seule ligne bifilaire sont examinées dans les paragraphes suivants.

Une des méthodes de transmission d'un seul signal de contrôle sur une longue ligne bifilaire consiste à superposer le signal sur un signal alternatif de fréquence plus élevée. Ceci est dû au fait que les variations de température, de pression, de vitesse d'un axe rotatif, et autres signaux habituellement transmis dans le domaine industriel sont produits généralement à des cadences faibles. Pour des raisons purement électroniques, des signaux basse fréquence de ce type sont très difficiles à amplifier, alors que des signaux dont les fréquences sont de l'ordre de quelques centaines ou milliers de hertz sont beaucoup plus faciles à amplifier.

Il existe de nombreuses techniques pour superposer un signal basse fréquence à un signal alternatif de fréquence plus élevée. Les méthodes utilisées et les divers résultats qui peuvent être obtenus sont étudiés de manière détaillée dans les ouvrages de la série l'ÉLECTRONIQUE, et ne seront pas examinés ici.

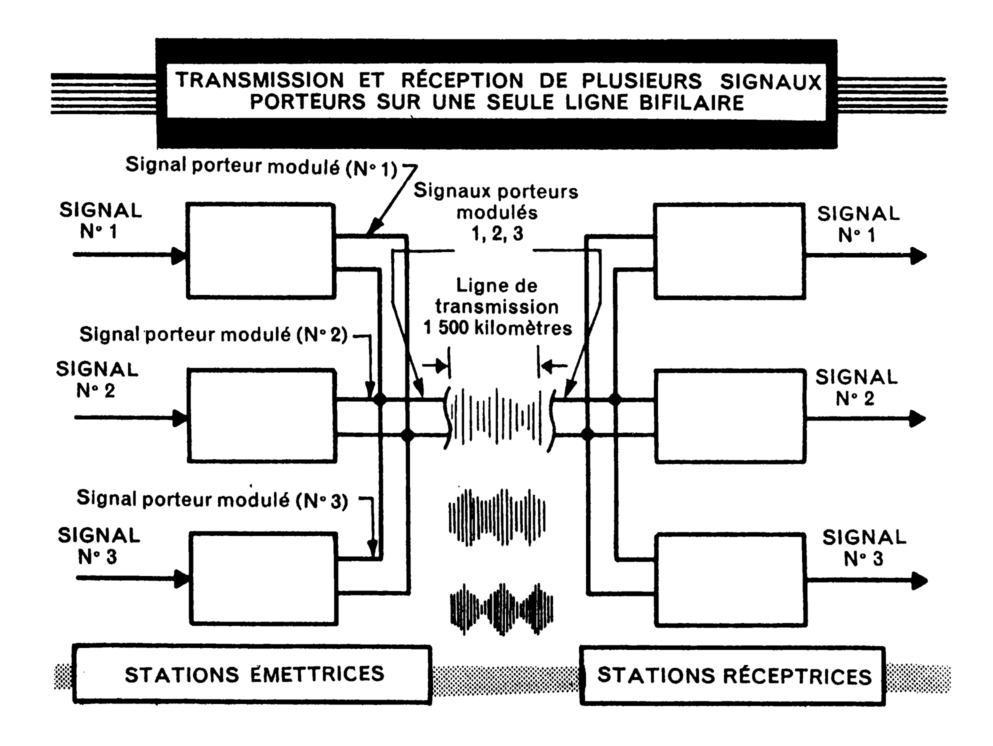


TÉLÉMESURE PAR MODULATION D'AMPLITUDE D'UN SIGNAL PORTEUR

Le schéma représente les résultats obtenus en utilisant une des méthodes les plus connues : « la modulation d'amplitude d'un signal porteur ». Le signal haute fréquence s'appelle le « signal porteur » ou « onde porteuse », et une de ses principales utilisations consiste à fournir aux amplificateurs un signal facile à amplifier. L'amplitude de l'onde porteuse est soumise à des variations (elle est « modulée ») afin de correspondre aux variations du signal basse fréquence qu'il est important de transmettre. À la station réceptrice, le signal porteur est séparé (démodulé) et seul le signal basse fréquence est transmis à l'enregistreur ou à l'appareil de mesure du poste de contrôle.

Un autre avantage important de l'utilisation des signaux porteurs réside dans le fait qu'un certain nombre de signaux porteurs peuvent être transmis, à des fréquences différentes, sur la même ligne bifilaire, sans se mélanger. La situation est semblable à la transmission de nombreux signaux radiophoniques à des fréquences porteuses différentes. Un poste récepteur de radio peut être accordé sur une fréquence bien déterminée, et il ne recevra que le signal correspondant.

En utilisant des techniques électroniques semblables, un certain nombre de signaux différents peuvent être superposés sur des signaux porteurs, à différentes fréquences, et transmis ensuite par la même ligne bifilaire. À la station de réception, on dispose d'un certain nombre de récepteurs électroniques; chacun de ces récepteurs sélectionne une fréquence déterminée, enlève le signal porteur, en ne préservant que le seul signal intéressant. Notez que, si les stations d'émission et de réception sont très éloignées l'une de l'autre, il peut être nécessaire d'amplifier chaque signal porteur plusieurs fois entre les deux stations. À chacun de ces points d'amplification, il faut disposer d'un groupe de récepteurs-amplificateurs. Chaque unité sélectionne, sur la ligne, la fréquence d'un signal porteur déterminé, amplifie cette fréquence, et la réintroduit dans la ligne.

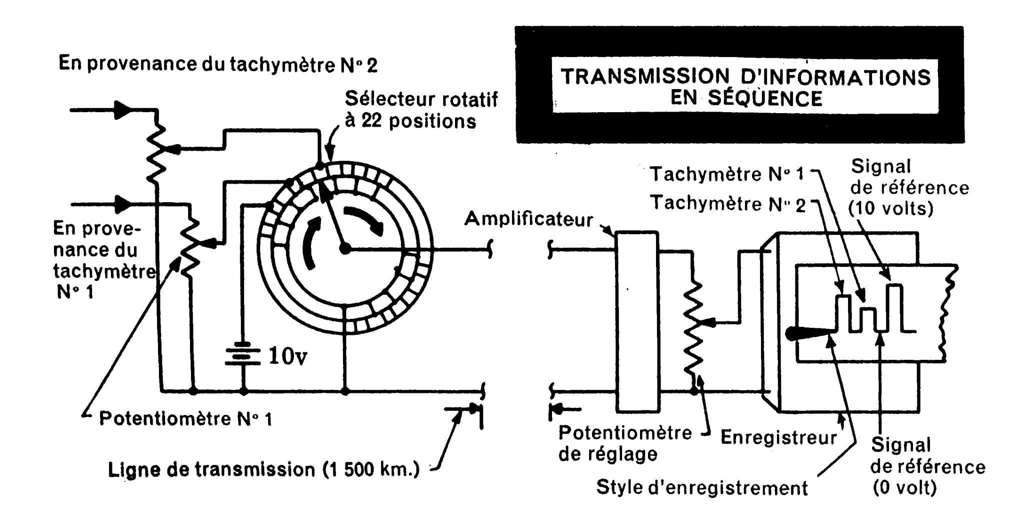


La méthode de télémesure par l'intermédiaire d'un certain nombre de signaux porteurs de fréquences différentes convient très bien aux applications pour lesquelles chaque signal doit être enregistré sur un canal distinct. Cependant, il existe de nombreuses utilisations pour lesquelles il est souhaitable de présenter un certain nombre de signaux divers sur un même canal d'enregistrement.

Il est plus facile de comprendre cette méthode lorsqu'elle s'applique à des signaux similaires transmis par des sources différentes; mais elle peut être également utilisée avec des signaux différents émis par des sources distinctes. Prenons un exemple que nous connaissons : on souhaite transmettre, sur une longue distance, les vitesses de dix axes rotatifs distincts. Dans une situation de ce genre, chaque axe est équipé d'un tachymètre semblable, et la sortie de chaque tachymètre est transmise à un potentiomètre. Les potentiomètres sont destinés à compenser les légères différences de la sortie des tachymètres, et chaque potentiomètre est ajusté de manière que sa sortie soit égale à celle des autres, lorsque tous les axes ont une même vitesse. Par exemple, tous les potentiomètres sont ajustés de manière que leurs signaux de sortie soient de 10 volts lorsque tous les axes tournent à 1 000 tours / minute.

La transmission des signaux se fait par l'intermédiaire des mêmes techniques que celles décrites pour la transmission de signaux de référence. Un sélecteur rotatif unipolaire à vingt-deux positions peut être connecté comme le montre le schéma. Des contacts du sélecteur sont connectés de manière à court-circuiter la ligne, pour fournir ainsi un signal de référence de 0 volt entre chaque signal du tachymètre et le signal de référence de 10 volts. Un nombre moins important de signaux de référence de 0 volt pourrait être utilisé, mais cet arrangement sépare bien chaque signal de tachymètre des autres, et supprime les possibilités de confusion des signaux des tachymètres. On ne dispose que d'un signal de référence de 10 volts, ce qui est suffisant pour de nombreuses applications; en ajoutant d'autres positions de commutation, on peut disposer d'un plus grand nombre de signaux de référence.

L'étalonnage, l'enregistrement et l'interprétation de la séquence des signaux reçus se font à l'aide des méthodes décrites dans cette même section.



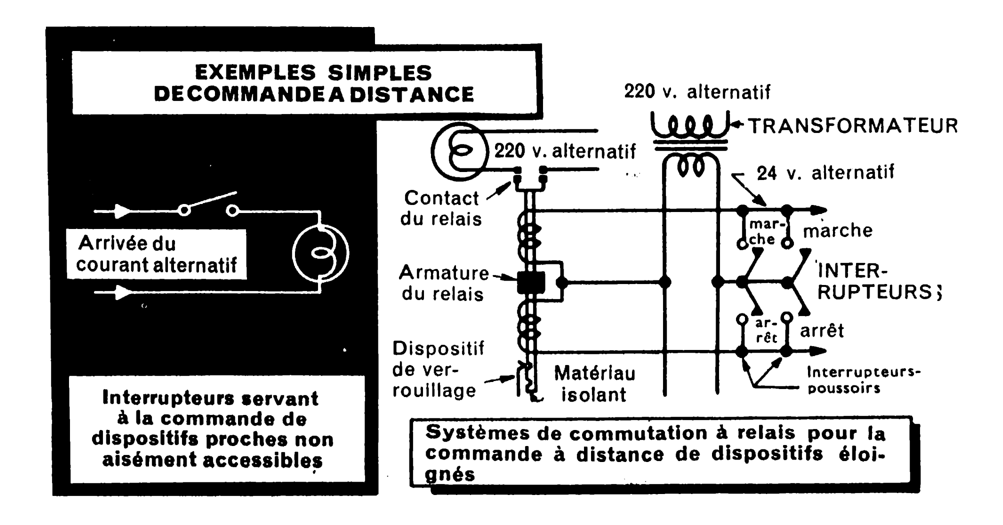
LA COMMANDE À DISTANCE

Toute fonction dont le déroulement dépend d'un dispositif situé à une certaine distance est dite fonction « commandée à distance » ou « télécommandée ». La distance n'a pas besoin d'être supérieure à quelques mètres. Il suffit que la fonction s'accomplisse hors de l'emplacement à partir duquel elle doit être commandée.

Vous êtes déjà familiarisé avec le concept et les détails de la commande à distance. Les informations de base figurent dans certaines des pages que vous avez eu l'occasion d'étudier. Maintenant, il suffit de rassembler ces connaissances pour formuler le concept de la commande à distance.

N'importe quel circuit comportant un interrupteur peut être considéré comme un exemple simple de commande à distance. Par exemple, la méthode la plus directe d'extinction d'une lampe électrique serait d'enlever l'ampoule de son support; l'allumage se faisant en remettant la lampe dans ce même support. Puisque cette technique n'est pas pratique, il est souhaitable de réaliser une commande à distance en employant un interrupteur pour ouvrir et fermer le circuit de la lampe. Cet interrupteur est généralement disposé sur le mur le plus proche de l'entrée de la pièce, et on obtient ainsi la commande à distance de cette lumière. Le même genre de télécommande est obtenu à l'aide de n'importe quel interrupteur convenablement placé et servant à mettre en marche un moteur, à actionner un électro-aimant ou n'importe quel dispositif.

Si vous souhaitez que la commande à distance implique que le dispositif commandé doit être hors de vue, et que la mise en route doit être obtenue par un dispositif plus élaboré qu'un simple interrupteur, vous arrivez à un des types de circuits de contrôle que vous connaissez déjà. Un exemple en est donné à la fin de la section 3 : il s'agit du circuit permettant de commander l'éclairage au moyen d'un système de relais. Dans ce circuit, les contacts du relais sont utilisés pour ouvrir et fermer le circuit de la lampe, et l'enroulement du relais peut être excité par un nombre quelconque d'interrupteurs disposés aux emplacements nécessaires. À l'aide d'un système de ce type, le directeur d'une usine, ou toute autre personne autorisée, peuvent allumer ou éteindre n'importe quelles lampes du bâtiment au moyen d'un tableau de commande disposé dans leur propre bureau. De même, ce type de montage peut être utilisé pour la commande à distance des systèmes de chauffage, de réfrigération, et d'une manière plus générale, de tous les équipements de l'usine.

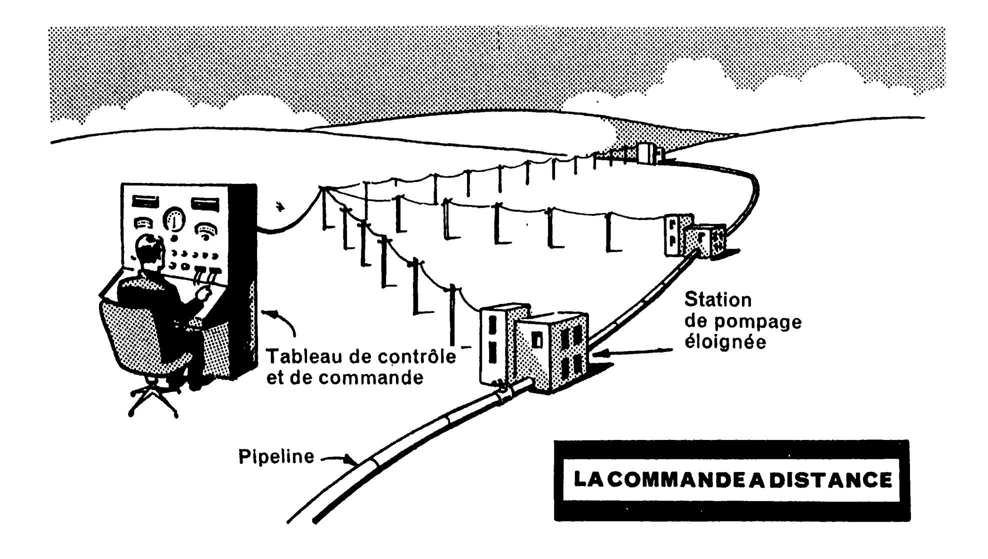


Votre connaissance des circuits de commande à distance ne se limite pas à la simple commande marche-arrêt. Par exemple, dans la section 4 relative au contrôle des machines électromécaniques, vous avez fait la connaissance des circuits de commande des moteurs. Ces circuits peuvent être utilisés pour démarrer, arrêter, inverser et contrôler la vitesse des moteurs électriques. Ces contrôleurs peuvent être montés à tout emplacement voulu, et des fonctions complexes peuvent être commandées à partir d'un emplacement éloigné.

Vous connaissez déjà des systèmes et dispositifs beaucoup plus complexes de commande à distance. Au cours de votre étude des servo-mécanismes électromécaniques (section 5), vous avez appris diverses méthodes permettant de contrôler la position de divers types de charges. Dans tous ces systèmes, l'ordre d'entrée peut être réglé à partir de tout emplacement choisi; il peut également être ajusté à distance dans la plupart des systèmes de contrôle de processus de la section 8.

Il existe d'autres systèmes de commande à distance que vous connaissez et qui ne sont pas limités à des composants électromécaniques. Vous trouvez ces exemples dans les systèmes industriels de contrôle des fluides que vous avez pu étudier à la section 7. Cette section vous a permis d'apprendre que les systèmes de chauffage, de réfrigération, de conditionnement d'air et de traitement des gaz et des liquides peuvent tous être commandés à partir d'emplacements éloignés.

Et enfin, dans les pages précédentes de la présente section, vous avez appris les méthodes utilisées pour la transmission des signaux sur de grandes distances. Ces techniques de la transmission des signaux ne sont pas uniquement utilisées pour le contrôlè d'opérations effectuées à distance. Elles peuvent également être utilisées pour transmettre des signaux effectifs de commande; signaux marche-arrêt, signaux de commande de la vitesse et de l'inversion d'un moteur, signaux ou ordres d'entrée en provenance d'un des servo-mécanismes déjà étudiés. Ainsi, la transmission à longue distance des signaux permet facilement à un observateur de vérifier le fonctionnement d'un appareil éloigné, et de procéder aux réglages nécessaires pour que cet appareil fonctionne selon les besoins ou les conditions imposés.



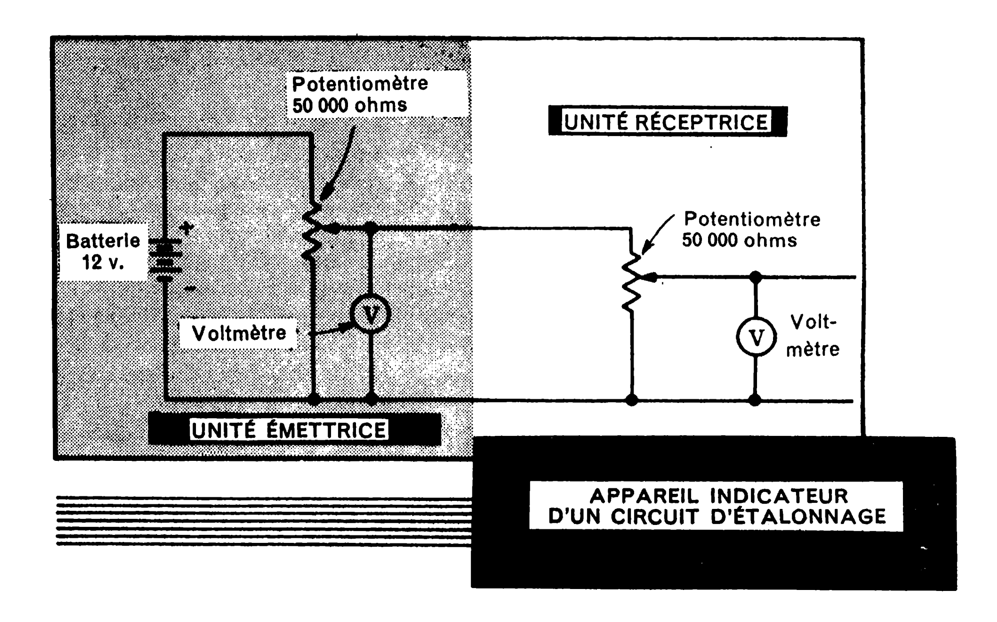
TÉLÉCOMMANDE ET CONTRÔLE À DISTANCE — EXPÉRIMENTATION

Dans cette expérimentation, vous pourrez vous rendre compte des principaux effets des pertes par résistance et des interférences électriques qui se produisent lors de la transmission de signaux sur de longues lignes de transmission; vous aurez également la possibilité d'étudier les principales méthodes employées pour pallier ces effets. Vous vous familiariserez de même avec les caractéristiques des enregistreurs à bandes. Les principaux éléments dont vous aurez besoin figurent sur les schémas et illustrations.

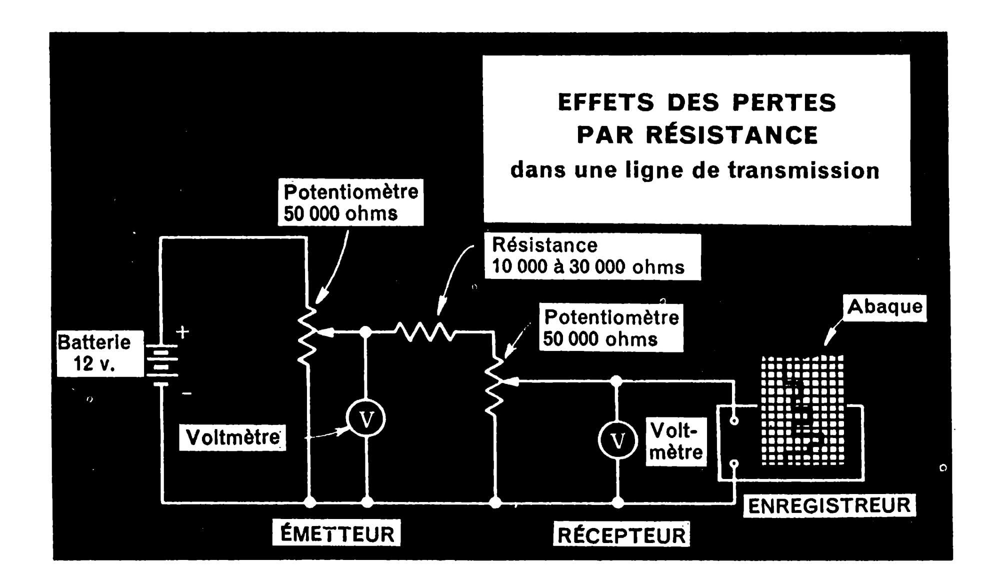
Pour commencer cette expérimentation, vous devez bien connaître la construction, les caractéristiques principales et les boutons de commande d'un appareil enregistreur à bandes. Du fait du nombre de modèles disponibles, il est pratiquement impossible de vous donner des indications précises dans le cadre de cet ouvrage. Les caractéristiques et le fonctionnement de l'enregistreur devront d'abord être indiqués par l'instructeur; ensuite il vous permettra d'actionner les boutons de commande.

La seconde partie de cette expérimentation implique l'étude des techniques d'étalonnage d'un appareil indicateur. Effectuez le montage des potentiomètres et des appareils de mesure en vous reportant aux indications du schéma. La batterie de douze volts et le potentiomètre qui sont représentés sur la partie gauche du schéma constituent un transducteur qui peut être utilisé pour transmettre un signal sur une ligne bifilaire; et le voltmètre qui est branché à ce potentiomètre permet de connaître l'amplitude du signal transmis. Sur la droite, vous voyez un potentiomètre et un voltmètre, ils représentent l'unité réceptrice qui doit être étalonnée.

Pour commencer cette expérimentation, ajustez le potentiomètre émetteur de manière que le voltmètre indique que 10 volts sont envoyés dans la ligne de transmission. À l'extrémité réceptrice, ajustez le potentiomètre jusqu'à ce que le voltmètre indique 10 volts; ce voltmètre est maintenant étalonné. Pour vous en convaincre, il suffit de régler le potentiomètre émetteur sur n'importe quelle valeur qui sera alors transmise dans la ligne bifilaire; le voltmètre de l'unité de réception indiquera alors le même chiffre, avec toutefois une possibilité de très légère erreur due à l'appareil lui-même, et à la chute de tension dans la ligne.



APPAREIL INDICATEUR D'UN CIRCUIT D'ÉTALONNAGE

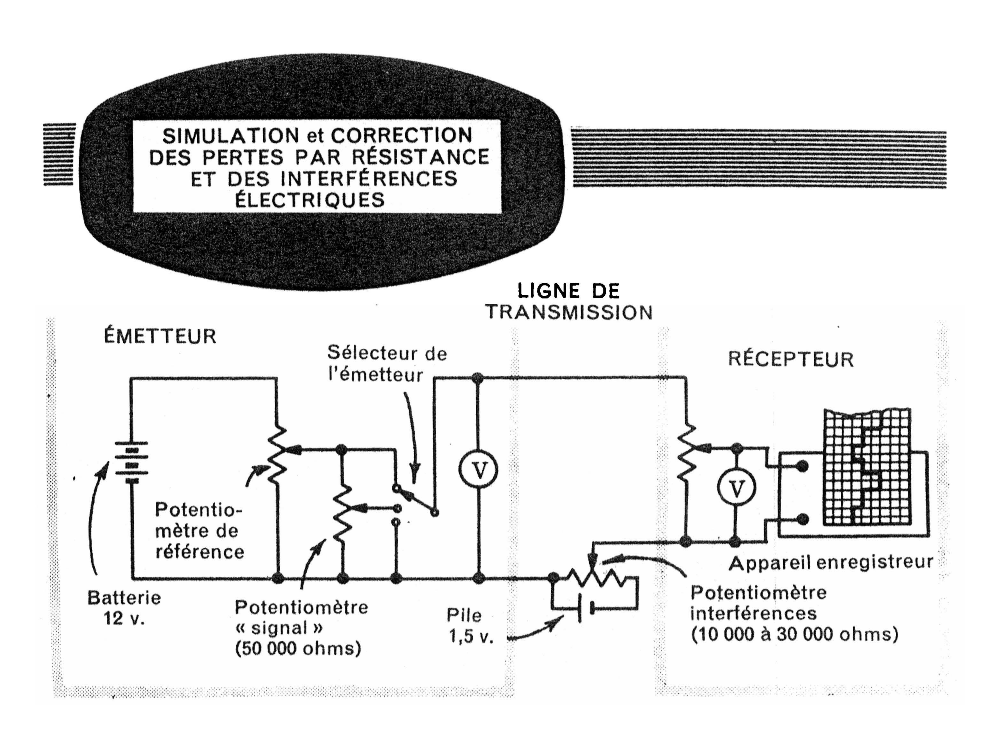


La troisième partie de cette expérimentation montre les effets des pertes par résistance dans une ligne de transmission, et indique également le mode de lecture correct du récepteur dans le cas de pertes de ce type. Pour simuler ces pertes par résistance, coupez la ligne positive en son milieu, et branchez les deux extrémités ainsi obtenues aux bornes d'une résistance de 10 000 à 30 000 ohms. L'appareil de mesure récepteur indique maintenant une valeur plus petite que celle portée sur l'appareil de mesure de la station émettrice; et ceci reste vrai quelle que soit la position du potentiomètre émetteur. Notez cependant que vous pouvez ajuster le potentiomètre du récepteur de telle manière que son appareil de mesure indique juste le milieu de l'échelle graduée. Faites ce réglage, et constatez que, quelle que soit la position du potentiomètre émetteur, l'appareil de mesure de la station de réception indique la moitié de cette valeur, en tenant toutefois compte des légères erreurs dues à l'appareil lui-même et à la valeur de I dans le circuit. Ainsi, en multipliant par deux l'indication donnée par l'appareil de mesure de la station réceptrice, vous obtenez la valeur du signal émis. Les mêmes procédés vous permettent d'ajuster le potentiomètre de l'unité réceptrice de manière que son appareil de mesure indique un quart, un huitième, un dizième ou toute autre fraction choisie de la tension transmise.

Si l'on veut que l'appareil de mesure récepteur indique la valeur exacte de la tension émise, il faut doter la ligne de transmission d'amplificateurs. Ceci constituera la quatrième partie de l'expérience et sera une simulation effectuée à l'aide d'un enregistreur. L'amplificateur contenu dans l'appareil enregistreur peut être utilisé pour simuler tous les amplificateurs qui pourraient être employés pour compenser toutes les pertes inhérentes à une ligne de transmission de grande longueur. À cette fin, branchez l'appareil enregistreur aux bornes de l'appareil de mesure de l'unité émettrice; ensuite, mettez l'enregistreur en marche. Ajustez la tension transmise à une valeur de 10 volts. Maintenant, sans réajuster le potentiomètre récepteur, vous pouvez régler l'enregistreur pour qu'un déplacement complet de son style indique la tension de 10 volts. Les marques portées sur le papier de l'enregistreur indiquent alors des fractions de ce maximum de 10 volts. Faites varier la valeur du potentiomètre de l'émetteur afin de lui faire indiquer des valeurs choisies, et constatez que le style de l'appareil enregistreur se déplace et indique ces mêmes valeurs.

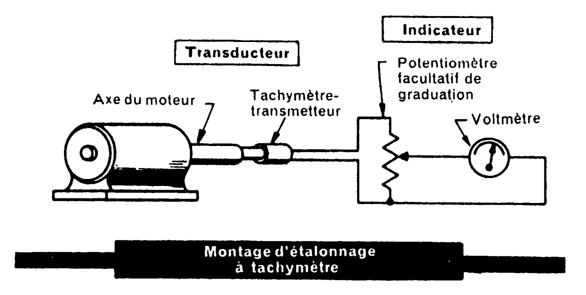
La dernière partie de cette expérience consiste à simuler et à corriger les effets combinés des pertes par résistance et des interférences électriques. À cette fin, réalisez le montage du schéma ci-après. Commencez l'expérience en ajustant le sélecteur de l'émetteur sur la position « signal ». Mettez le potentiomètre « interférences » sur n'importe quelle position qui indiquera les interférences électriques inconnues, les pertes par résistance et la perte du signal de référence zéro. Mettez le potentiomètre « signal » sur n'importe quelle indication représentant un signal de sortie quelconque en provenance d'un transducteur. Maintenant, mettez en marche le système de déroulement du papier de l'enregistreur, et faites lentement passer le sélecteur de l'émetteur de l'une à l'autre de ses trois positions. Arrêtez le mécanisme de déroulement du papier de l'enregistreur, et examinez l'enregistrement obtenu. Puisque les signaux de référence 0 et 10 volts sont nettement indiqués, il est aisé de déterminer l'amplitude du signal. Déterminez cette amplitude, et comparez-la avec l'indication donnée par l'appareil de mesure de l'émetteur lorsque le sélecteur de l'émetteur est en position « signal ».

Le bouton de commande de l'amplificateur de l'enregistreur et le réglage du zéro peuvent être utilisés pour transformer le signal de sortie en un signal à lecture directe et définitive. Montrez ceci en demandant à quelqu'un de positionner lentement le sélecteur de l'émetteur sur ses trois positions. Pendant que votre assistant fait cette opération, ajustez d'abord le réglage du zéro de l'appareil enregistreur pour que le style soit sur le repère zéro lorsque le signal de référence de 0 volt est transmis. Maintenant, la tension du signal peut être lue directement sur le papier de l'enregistreur. Si le niveau de l'interférence est modifié, ses effets peuvent être compensés par un nouveau réglage des boutons de commande de l'appareil enregistreur.

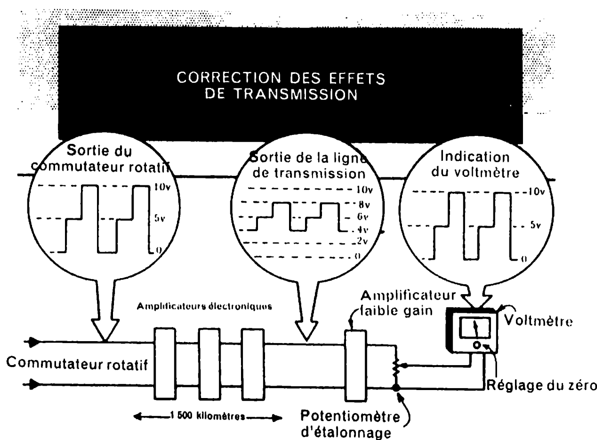


TÉLÉCOMMANDE ET CONTRÔLE À DISTANCE — RÉVISION

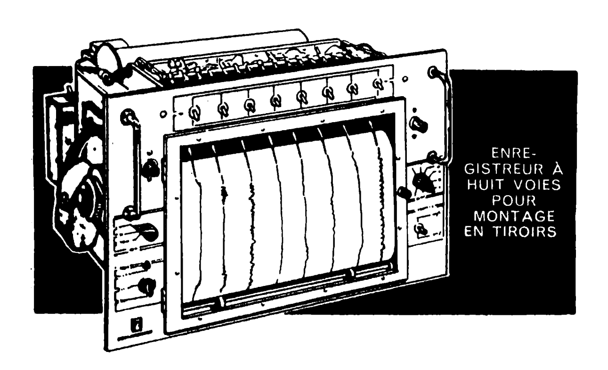
CONTRÔLE À FAIBLE DISTANCE — Lorsqu'un transducteur et son appareil de mesure sont séparés par une petite distance, l'amplitude du signal ne subit pas de pertes sérieuses, et les fils de connexion sont rarement sujets à des interférences électriques. La graduation de l'appareil de mesure est donc simple à réaliser.



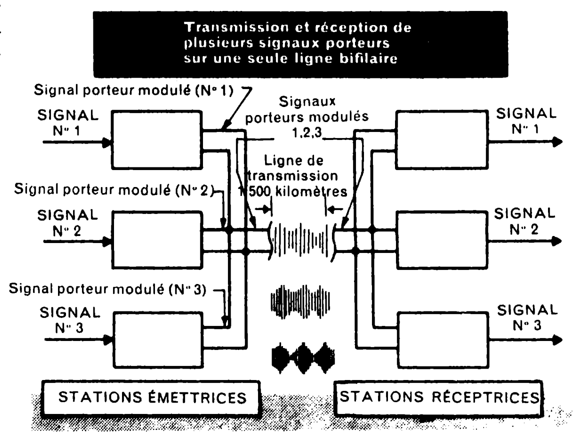
CONTRÔLE À GRANDE DISTANCE — Lorsque la résistance des fils de connexion se traduit par des pertes importantes de l'amplitude du signal, il faut recourir à l'utilisation d'amplificateurs. Les variations du gain d'amplification et les interférences électriques obligent à transmettre, avec le signal, certains signaux de référence servant à l'interprétation correcte du signal transmis. La différence mesurable qui existe entre le niveau connu du signal de référence et celui du signal du transducteur permet une mesure exacte du signal du transducteur.



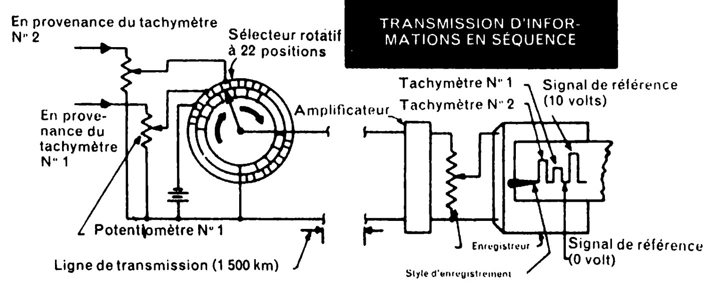
ENREGISTREURS À ABAQUES — Les enregistreurs à abaques permettent de disposer d'enregistrements permanents du fonctionnement de certains matériels. La plupart des enregistreurs se composent d'un amplificateur électronique, d'un style enregistreur, d'un dispositif d'entraînement ou organe moteur du style, d'un abaque de forme circulaire ou en bande, et d'un système d'entraînement de l'abaque.


ENREGISTREUR À HUIT VOIES POUR MONTAGE EN TIROIRS

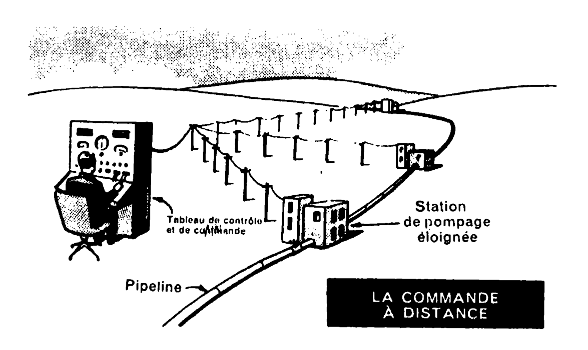
TRANSMISSION DE PLUSIEURS SIGNAUX PORTEURS — De nombreux signaux différents peuvent être transmis sur une seule ligne bifilaire, sans se mélanger. À cette fin, on superpose ces signaux à des signaux porteurs alternatifs de fréquence plus élevée. Ce procédé nécessite un émetteur, un récepteur, et un canal d'enregistreur pour chaque signal.



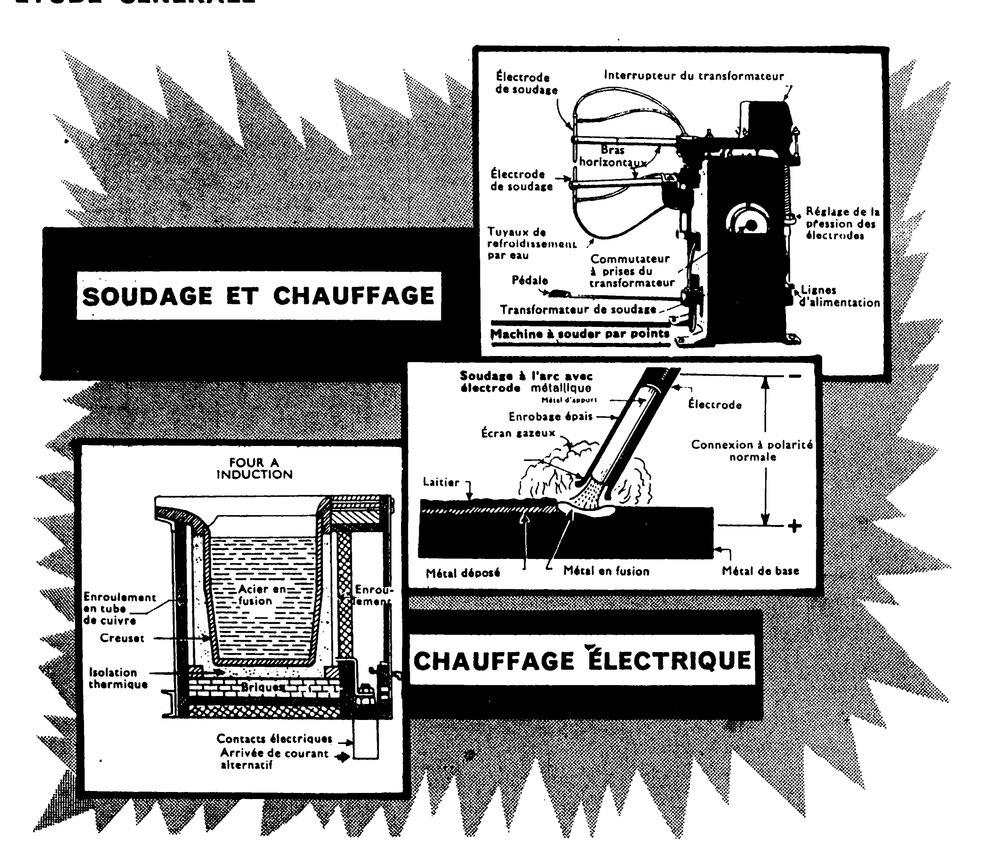
TRANSMISSION EN SÉQUENCE DE PLUSIEURS SIGNAUX — Si les différents signaux sont transmis en séquence, on peut se servir seulement d'un émetteur, d'un récepteur et d'un canal d'enregistrement. Les divers signaux transmis peuvent être identifiés et mesurés en les séparant par des signaux de référence.



LA COMMANDE À DISTANCE — Toute fonction dont le déroulement dépend d'un dispositif situé à une certaine distance est dite fonction « commandée à distance » ou « télécommandée ». Vous êtes déjà familiarisé avec le concept et les détails de la commande à distance. Les informations de base relatives à la commande à distance figurent dans un certain nombre de pages que vous avez eu l'occasion d'étudier.



ÉTUDE GÉNÉRALE



Le fait que l'électricité peut être utilisée pour chauffer des matériaux est l'objet de nombreuses applications industrielles. Dans ces utilisations, l'électricité est employée pour assembler des pièces métalliques, pour faire fondre des minerais et en extraire le métal qu'ils contiennent, pour effectuer le traitement thermique de métaux et d'autres matériaux afin de leur donner des propriétés spéciales, ainsi que pour une vaste gamme d'autres utilisations techniques, scientifiques, chimiques et médicales.

En général, le coût de l'électricité nécessaire pour mener à bien ces diverses opérations, est nettement plus élevé que celui du charbon, du coke, du gaz, du mazout ou de tout autre combustible qui pourrait être consommé pour produire les mêmes quantités de chaleur. Cependant, l'électricité a l'avantage de pouvoir être utilisée pour appliquer la chaleur à l'endroit exact où elle est nécessaire, et dans des proportions convenant avec précision à l'utilisation. Ainsi, le coût élevé de l'électricité est largement compensé par le côté extrêmement pratique du chauffage électrique et par le haut degré de précision de son contrôle.

La production de chaleur au moyen d'électricité se fait essentiellement par trois procédés qui sont : le chauffage par résistance, le chauffage par induction, et le chauffage par pertes diélectriques. Nous allons examiner les principes de ces procédés, et la manière dont ils sont utilisés dans l'industrie. Tout d'abord, nous étudierons l'utilisation du chauffage par résistance en soudage. Ensuite, vous apprendrez comment le chauffage par résistance, le chauffage par induction et le chauffage par pertes diélectriques sont employés dans d'autres processus industriels.

LE CHAUFFAGE PAR RÉSISTANCE

Les volumes 1 et 2 de l'ÉLECTRICITÉ du Programme COMMON-CORE vous ont permis d'étudier les principes fondamentaux du chauffage électrique par résistance. En bref, lorsqu'un courant électrique traverse une résistance, il y a production de chaleur. Le nombre de watts de puissance électrique convertis en chaleur est égal à la tension aux bornes de la résistance, multipliée par l'intensité (en ampères) du courant qui traverse la résistance (U x I = watts). En d'autres termes, le nombre de watts est égal au carré de l'intensité (en ampères) qui traverse la résistance par la résistance en ohms (I^2 x R = watts). Ci-dessous, vous pouvez voir des variantes de cette formule de la puissance.
La puissance exprimée en watts peut également être transformée pour exprimer la chaleur produite. Si le nombre de watts est multiplié par le nombre de secondes pendant lesquelles le courant circule dans la résistance, on obtient un nombre de watts par seconde. On emploie aussi le watt-heure (Wh) qui vaut 3,6 x 10^3J. Les quantités de chaleur se mesurent en calories (cal). La calorie est la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1°C la température d'un gramme d'eau. Une calorie vaut 4,1855 joule ou 1/860 Wh.



$$P = UI$$

En remplaçant U par IR : $P = (IR)\,I$ ou $I \times R \times I$

Et puisque I x I = I^2 : $P = I^2R = RI^2$

AUTRE VARIANTE DE

$$P = UI$$

En remplaçant E par U / R : $P = U\left(\frac{U}{R}\right)$ ou $\frac{U \times U}{R}$

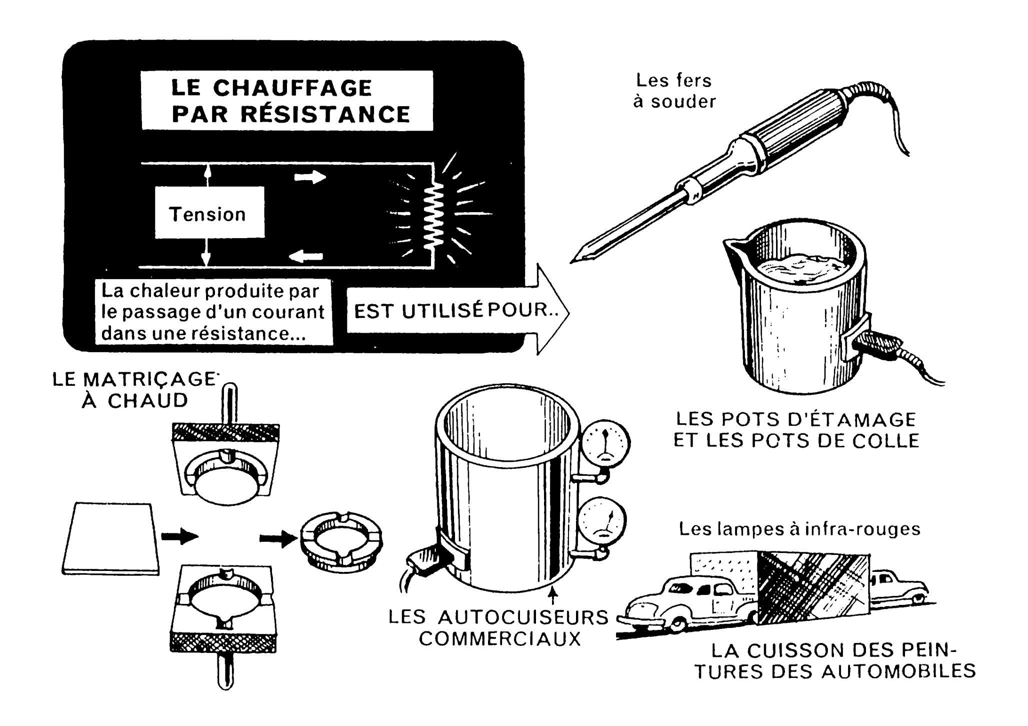
Et puisque U x U = U^2 : $P = \frac{U^2}{R}$

Pour des puissances supérieures à 1 000 watts, l'unité utilisée est le kilowatt. Pour des quantités inférieures à un watt, on utilise le milliwatt.

GRANDES ET PETITES UNITÉS DE PUISSANCE

1 kilowatt = 1 000 watts   1 milliwatt = $\frac{1}{1\,000}$ watt

1 kW = 1 000 W   1 mW = $\frac{1}{1\,000}$ W



Le chauffage au moyen d'un courant électrique parcourant un fil de forte résistance est couramment utilisé dans les fers à souder, les pots d'étamage et les pots de colle, les autocuiseurs de l'industrie des conserves, les fours de cuisson, les fours industriels, les presses d'imprimerie, le matriçage à chaud des matières plastiques, et dans une vaste gamme d'appareils électro-ménagers. Dans toutes ces utilisations, le chauffage par résistance est employé du fait de sa grande simplicité et de son côté pratique, en plus de la facilité et de la précision qu'il permet pour le contrôle de la température.

Le fil électrique résistif utilisé pour le chauffage par résistance doit avoir plusieurs propriétés spéciales. En premier lieu, il doit avoir une forte résistance par unité de longueur; ainsi, la résistance totale voulue s'obtient sans employer de grandes longueurs de fil. En second lieu, du fait que divers appareils de chauffage ont des surfaces à chauffer de taille différente, il faut pouvoir contrôler la résistance par centimètre de fil. Ceci est effectué par le choix d'un matériau de conductivité adéquate, et par le contrôle, lors de la fabrication, de la section du fil. En troisième lieu, le fil résistif doit avoir un point de fusion beaucoup plus élevé que la plus haute température qu'il peut atteindre lorsqu'il est employé à fournir de la chaleur.

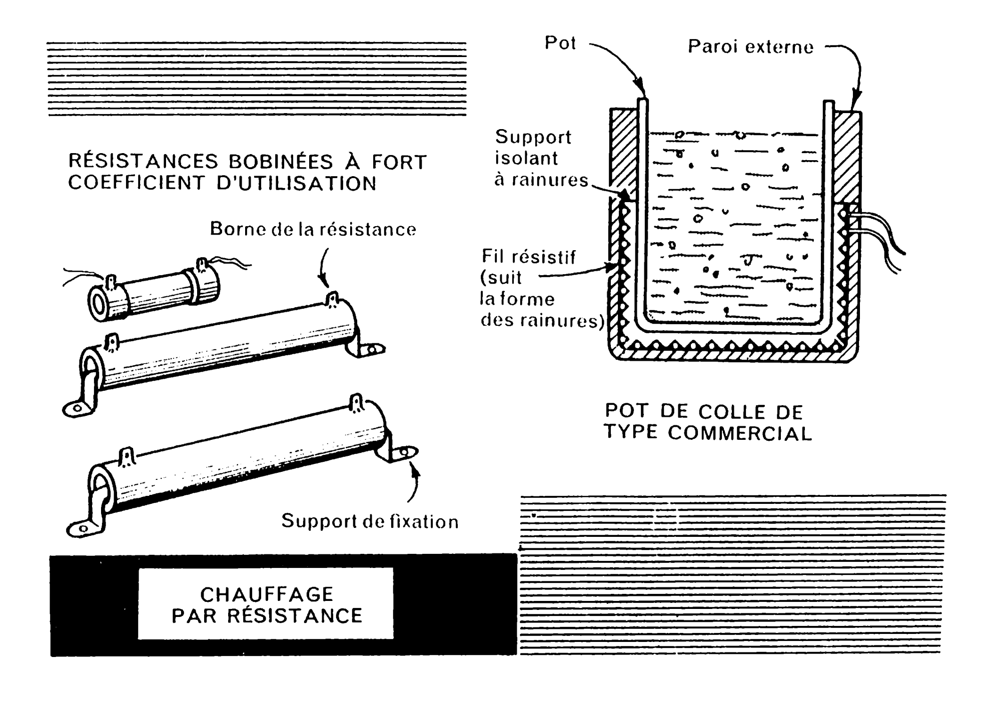
Quatrièmement, le fil résistif doit conserver une certaine souplesse dans toutes les conditions de chauffage et de refroidissement; il ne doit pas devenir fragile au point de se rompre du fait des contraintes mécaniques auxquelles il est soumis normalement. Cinquièmement, dans des conditions normales de fonctionnement, le fil ne doit pas s'oxyder; c'est-à-dire que sa surface ne doit pas perdre sa nature métallique et s'écailler comme le font le fer, le cuivre, l'aluminium et d'autres métaux lorsqu'ils sont exposés à la chaleur, à l'air et à l'humidité.

Le fil résistif employé dans les applications industrielles est formé de quelques alliages, et il est disponible en une vaste gamme de sections transversales rondes et rectangulaires. Les principaux alliages employés sont le nickel et le chrome, le nickel et le cuivre, le nickel et l'argent, et le nickel avec le cuivre et le zinc. La plupart d'entre eux sont connus, sous des noms de marque tels que « Nichrome », « Copel », « Chromel », « Nilvar », « Karma », et leurs propriétés sont exposées dans les brochures des fabricants, ainsi que dans les ouvrages d'électro-technique.

Pour son utilisation dans les circuits électriques courants, le fil résistif est bobiné sur des supports en matériaux isolants et thermiquement résistants. Ces résistances bobinées vous ont été exposées dans le volume 1 de l'ÉLECTRICITÉ du programme COMMON-CORE.

Pour les applications de chauffage industriel, le fil résistif est parfois bobiné sous forme d'une résistance à fort coefficient d'utilisation (voir la Figure). Souvent ce fil est enroulé sur des supports de formes spéciales et isolants qui s'adaptent dans les parois d'un récipient utilisé pour chauffer des matériaux.

Dans ces applications, un interrupteur thermo-sensible est généralement utilisé comme moyen principal d'alimentation et de coupure du courant électrique; de cette façon, la température choisie peut être maintenue. Si l'on désire obtenir un contrôle plus précis de la température, on peut employer des thermomètres à résistance ou des thermocouples avec des amplificateurs électroniques; ainsi, on met en œuvre un servo-mécanisme de contrôle. Un système de ce type fournit exactement la quantité de courant nécessaire pour stabiliser la température au niveau voulu, et compense avec précision les variations lentes ou rapides de la température, dues à l'enlèvement de matière chauffée ou à l'addition de nouvelles quantités de matière non chauffée.



CHAUFFAGE PAR RÉSISTANCE

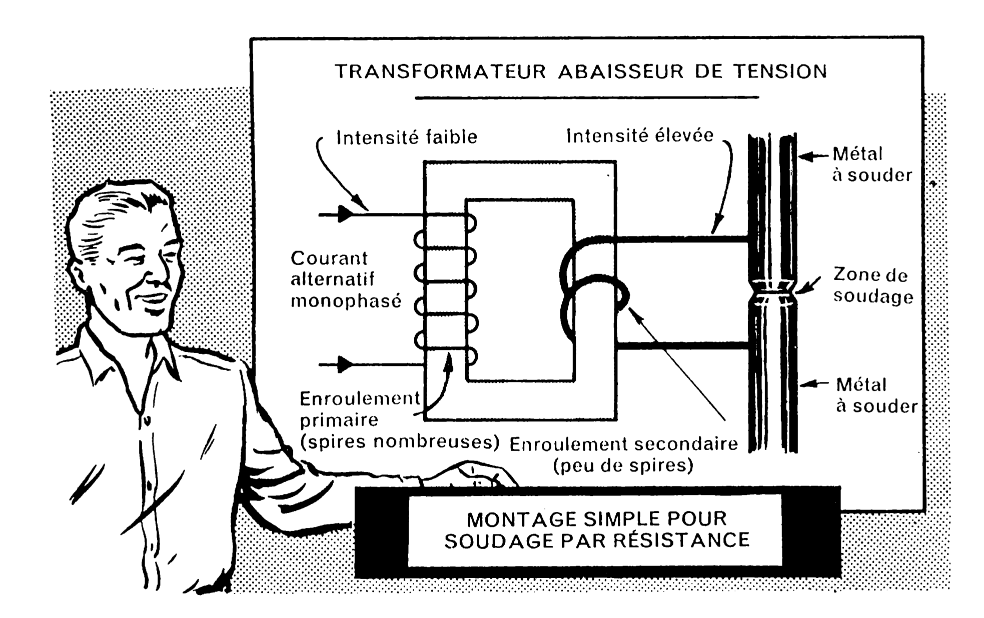
ÉTUDE DU SOUDAGE PAR RÉSISTANCE

Le soudage constitue l'un des procédés les plus importants pour assembler deux morceaux de métal de manière permanente. Dans le soudage, les surfaces qui doivent être assemblées sont chauffées et portées à leur point de fusion ou, tout au moins, à un point où elles acquièrent une consistance plastique. C'est alors que les deux métaux se mélangent pour n'en former qu'un.

Il existe plusieurs méthodes non électriques de soudage. Dans le soudage à la forge, les deux parties à assembler sont chauffées et portées à un point où elles acquièrent une consistance pâteuse, et un martelage ou l'action d'une presse exerce une force mécanique qui assemble les deux éléments. Dans le soudage à la flamme, les parties à assembler sont placées l'une contre l'autre dans la position voulue, et une flamme à très haute température chauffe les surfaces en contact qu'elle amène à leur point de fusion. Le métal liquéfié en provenance des deux composants forme un flux unique qui se mélange en une seule pièce, sans qu'il soit nécessaire de lui appliquer une pression. Si du métal supplémentaire est nécessaire pour réaliser un joint plus résistant, il peut être ajouté en plaçant l'extrémité d'une baguette ou d'un fil, fait d'un matériau adéquat, dans la zone chauffée, et en permettant au métal additionnel de s'écouler dans le joint. Dans le soudage aluminothermique, les zones à assembler sont placées dans un creuset. Un mélange aluminothermique où ont été incorporés de l'oxyde d'aluminium et du fer en poudre est versé dans la région du joint, puis chauffé. Il fait fondre alors le métal situé à sa proximité immédiate. Un joint solide se forme ainsi, au moment du refroidissement.

Il existe de nombreuses méthodes de soudage électrique. Les principales catégories dans lesquelles ces méthodes peuvent être regroupées comprennent le soudage électrique par résistance, le soudage électrique à l'arc, et le soudage à l'hydrogène atomique. Ces procédés seront exposés dans les pages suivantes.

Dans le soudage électrique par résistance, les deux éléments de tôle ou de fil, ou une combinaison des deux, sont mis en contact. Ensuite, un courant électrique de forte intensité, en provenance d'un transformateur-abaisseur de tension, est appliqué à une petite partie de la zone en contact. Dans cette petite partie, la résistance électrique engendre une chaleur suffisante pour porter les deux métaux à fusion. (Effet Joule localisé.)



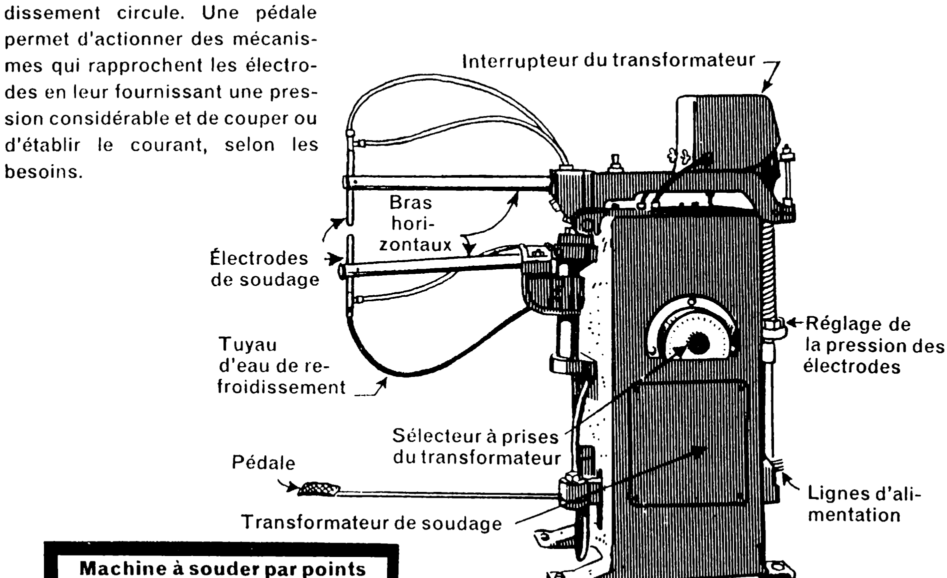
MONTAGE SIMPLE POUR SOUDAGE PAR RÉSISTANCE

LE SOUDAGE ÉLECTRIQUE PAR RÉSISTANCE

Il existe un grand nombre de méthodes et de machines qui permettent de faire des soudures électriques; cependant, leur fonctionnement est toujours basé sur le même principe fondamental. Le composant principal de la machine est un gros transformateur monophasé à service continu, dont le primaire se compose de plusieurs milliers de spires de fil conducteur, et dont le secondaire comprend environ dix spires ou moins de fil de cuivre de gros diamètre ou de barreau de cuivre. Le courant appliqué au primaire est un courant alternatif de 110 ou 220 volts, 50 périodes, et il est généralement inférieur à dix ampères. Cependant, dans le secondaire, le très fort rapport d'abaissement du transformateur se traduit généralement par une tension de sortie de l'ordre de un ou deux volts, et par une intensité de plusieurs milliers d'ampères. Une prise mobile, placée sur l'enroulement secondaire, permet de régler le courant secondaire. En se propageant dans la résistance formée par les zones de métal en contact, la forte intensité du courant échauffe le métal qui devient mou, et une forte pression momentanée est appliquée pour réaliser la liaison entre les deux parties métalliques.

Le soudage par points est généralement employé pour assembler des tôles. Il est également utilisé pour assembler de nombreuses pièces en métal de faible épaisseur à des supports faits de métal plus épais. Dans le soudage par points, la fusion de deux éléments se fait sur une petite surface, ou point, d'environ 3 millimètres de diamètre. Un ou plusieurs « points » sont généralement suffisants pour assembler des éléments de petite taille; l'assemblage de grandes plaques de tôle se fait au moyen de longues rangées de points qui présentent, en général, des espacements de l'ordre de 1 à 5 centimètres.

La figure suivante montre les plus importantes caractéristiques d'une machine simple de soudage par points. Le transformateur à service continu est dans l'armoire de la machine. Les bornes de sortie de l'enroulement secondaire sont connectées aux bras horizontaux. Des électrodes de soudage en cuivre, à pointe émoussée, sont montées à l'extrémité des bras; pour les applications nécessitant un service continu, les électrodes comportent des canaux dans lesquels l'eau de refroidissement circule. Une pédale permet d'actionner des mécanismes qui rapprochent les électrodes en leur fournissant une pression considérable et de couper ou d'établir le courant, selon les besoins.

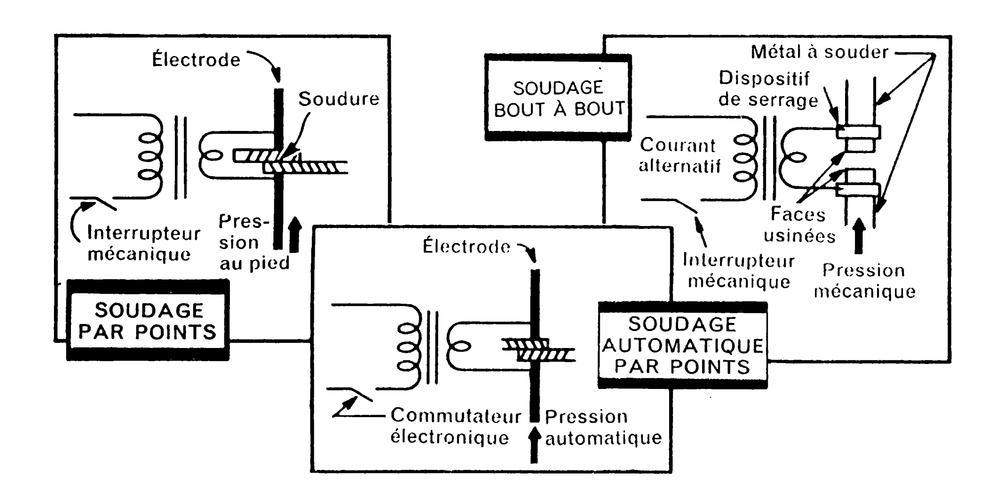


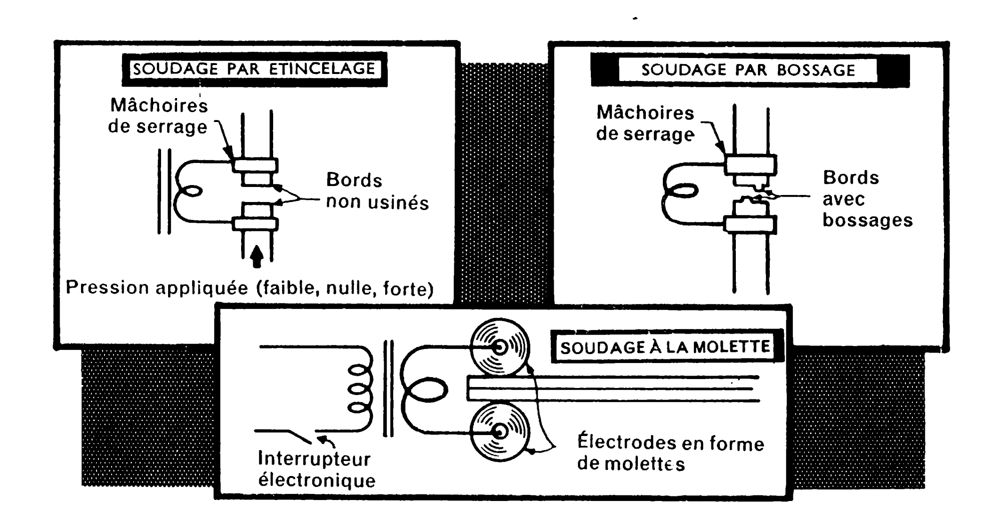
Machine à souder par points

Les deux pièces à assembler sont mises en place entre les deux électrodes de la machine à souder par points. L'opérateur appuie sur la pédale, et les deux électrodes viennent buter contre le métal. Lorsque la pression qui s'exerce sur les électrodes acquiert une certaine valeur, le courant est branché. La petite surface de contact est portée à une température élevée qui correspond à un état malléable du métal, et la pression qui continue à augmenter assure la soudure du métal à cet endroit. Lorsque la pédale arrive à bout de course, le courant est coupé, et la pression des électrodes est automatiquement relâchée. L'opération de soudage est terminée. Les mécanismes qui assurent la pression des électrodes et la commutation du transformateur fonctionnent avec une efficacité telle qu'un point de soudage est fait en moins d'une seconde. En commandant la pression qu'il exerce par l'intermédiaire de son pied, l'opérateur peut ajuster le temps de passage du courant électrique convenant au matériau. Ce procédé de soudage convient à la plupart des applications. Cependant, du fait que le courant est appliqué assez longtemps pour réchauffer le métal environnant, la dureté et d'autres propriétés spéciales de certains métaux (acier inoxydable et alliages à base d'aluminium) sont modifiées.

Le soudage automatique par points est semblable au soudage manuel par points, mais la chaleur est appliquée pendant un laps de temps tellement court que le métal environnant est moins affecté. La différence essentielle réside en ce que des intensités plus élevées sont appliquées au plan de joint pendant des temps variant entre 1/2 et 1/10e de seconde. Du fait de cette très courte période d'application du courant, la commutation ne peut être commandée par l'opérateur; on utilise des systèmes automatiques pour une rapide application de la pression, et des dispositifs électroniques horaires de commande du courant (temporisateurs). Dans les machines automatiques de soudage par points où l'alimentation en pièces est continue, des réglages permettent d'obtenir une série continue d'impulsions de courant soigneusement minutées, en alternance avec des intervalles précis pendant lesquels le courant ne passe pas. Ces impulsions varient entre 1 et 20 périodes selon n'importe quelle combinaison choisie; on dispose ainsi d'un contrôle précis de l'opération de soudage.

Le soudage bout à bout est un procédé qui permet de faire une soudure continue entre les extrémités de deux barres métalliques. Le circuit électrique est à peu près le même que celui qui est utilisé pour le soudage par points. Les deux faces à assembler sont coupées ou meulées pour obtenir un meilleur contact, et les deux pièces sont fixées aux électrodes sous des mâchoires mécaniques qui les rapprochent sous pression.





Lorsque les deux éléments sont rapprochés l'un de l'autre, il se crée une forte résistance électrique dans le plan de contact de leurs faces. La forte intensité du courant qui traverse ce plan de contact élève la température du métal qui devient malléable, et la pression mécanique entre en action. Le courant est alors coupé, et la pression mécanique continue à être exercée jusqu'à solidification de la zone soudée.

Le soudage par étincelage produit également une soudure entre deux faces métalliques. La machine et le circuit électrique sont les mêmes que ceux utilisés pour le soudage bout à bout. Toutefois, dans le procédé par étincelage, il n'est pas nécessaire que les deux faces soient soigneusement usinées ou préparées pour fournir un bon contact; elles sont d'abord rapprochées au moyen d'une pression légère, puis éloignées à une faible distance l'une de l'autre, et il y a ainsi création d'arcs électriques entre elles. Elles sont ainsi échauffées jusqu'à ce qu'elles atteignent un état pâteux. (Ce chauffage se fait par action de l'arc). On peut ensuite les mettre en contact et les soumettre à une forte pression. Les oxydes de surface sont expulsés, et on obtient alors un joint uniforme et sain entre les deux bords assemblés.

Le soudage par bossage combine les techniques du soudage bout à bout ou par étincelage et celles du soudage par points. Dans le soudage par bossage, l'un ou les deux bords des tôles à assembler sont munis d'une série de protubérances qui leur a été imprimée à l'aide d'une presse. Les bords sont rapprochés l'un de l'autre, les protubérances dirigées vers l'endroit du contact; et lorsqu'elles touchent le métal plat, toutes les petites zones de contact s'échauffent simultanément, et une série de points de soudage est réalisée.

Le soudage à la molette est un procédé de soudage automatique qui ressemble, par certains aspects, au soudage par points. Le soudage à la molette est utilisé pour assembler les bords de longues plaques métalliques. Les bords des tôles sont à recouvrement et passés entre deux électrodes en forme de disque rotatif, dont le diamètre est généralement compris entre 10 et 30 centimètres, ces électrodes sont connectées à l'enroulement secondaire d'un transformateur de soudage. Le courant de soudage, établi de manière continue, est périodiquement coupé par une unité de contrôle du même type que celle qui est utilisée dans le soudage automatique par points. Ainsi, au fur et à mesure du passage des tôles entre les électrodes rotatives, une série de points de soudure est réalisée. Ces points de soudure sont très rapprochés les uns des autres, la distance qui les sépare est généralement de l'ordre de 1 à 8 millimètres. On peut également réaliser des soudures continues à la molette, notamment pour résoudre des problèmes d'étanchéité.

LE SOUDAGE À L'ARC

Le soudage à l'arc permet de souder des pièces métalliques trop épaisses pour pouvoir, en pratique, être assemblées à l'aide des procédés de soudage par résistance. Ce procédé utilise des températures de plusieurs milliers de degrés (engendrées par un arc électrique) pour fondre le métal à l'endroit du joint situé entre les deux éléments à assembler. Le métal fondu qui provient des deux éléments, se mélange, et se soude sans qu'il soit nécessaire de faire appel à une pression extérieure. Du métal supplémentaire est souvent ajouté à la zone de fusion; il facilite la fusion et renforce la soudure. Il existe deux méthodes principales de soudage à l'arc : l'une utilise du courant continu, et l'autre du courant alternatif. Chaque méthode, et ses variantes habituelles, sera examinée séparément.

Deux dispositions principales sont utilisées pour fournir le courant continu nécessaire au fonctionnement de l'arc. L'une des méthodes consiste à utiliser une génératrice à courant continu entraînée soit par un moteur électrique, soit par un moteur à essence ou à un autre carburant. Le courant est transmis aux électrodes par l'intermédiaire de câbles de cuivre à isolement conçu pour un service continu et qui se terminent par un porte-électrodes comportant un dispositif de serrage. Le courant de sortie de la génératrice est réglé au moyen d'un rhéostat monté en série avec l'inducteur de la génératrice. La gamme d'utilisation courante est de l'ordre de 15 à 1 000 ampères pour une tension aux bornes de l'arc, de l'ordre de 10 à 50 volts.

L'autre méthode de production de courant continu aux électrodes consiste à utiliser un transformateur abaisseur de tension à facteur de marche 100%, dont l'enroulement secondaire est muni d'un redresseur. Le redresseur transforme le courant alternatif de sortie du transformateur en courant continu. Le redresseur de soudage est une unité qui fonctionne d'après les principes qui ont été exposés à propos de l'appareil de mesure à redresser (l'ÉLECTRICITÉ, volume 3 du programme COMMON-CORE). Le courant électrique qui arrive à l'arc peut être réglé, selon les besoins, au moyen de prises sur l'enroulement secondaire. Le matériel utilisé pour le soudage en courant alternatif est très semblable à celui qui est employé pour le soudage en courant continu. Lorsque l'on dispose de courant alternatif, le montage le plus utilisé comprend un transformateur abaisseur de tension dont les bornes de l'enroulement secondaire sont connectées aux électrodes. Dans d'autres conditions, un moteur à essence ou un moteur à courant continu peuvent être utilisés pour entraîner un générateur de courant alternatif (alternateur) qui alimente le transformateur.

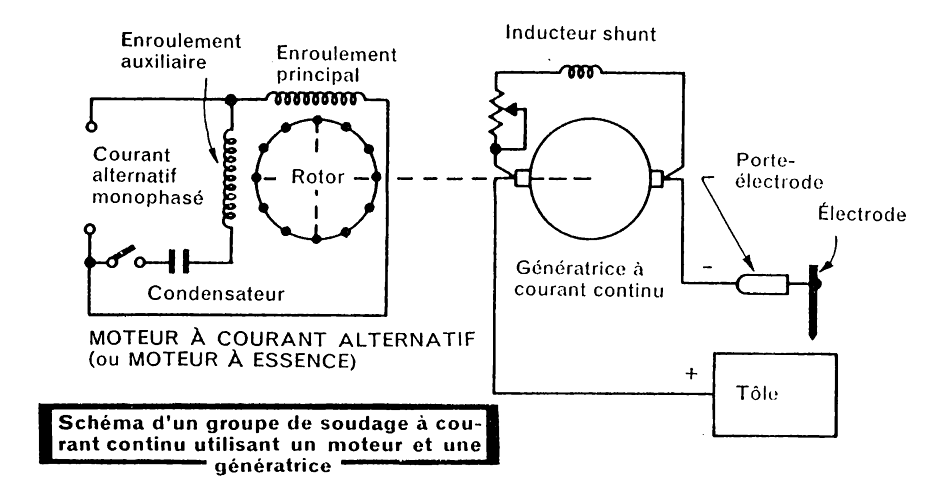
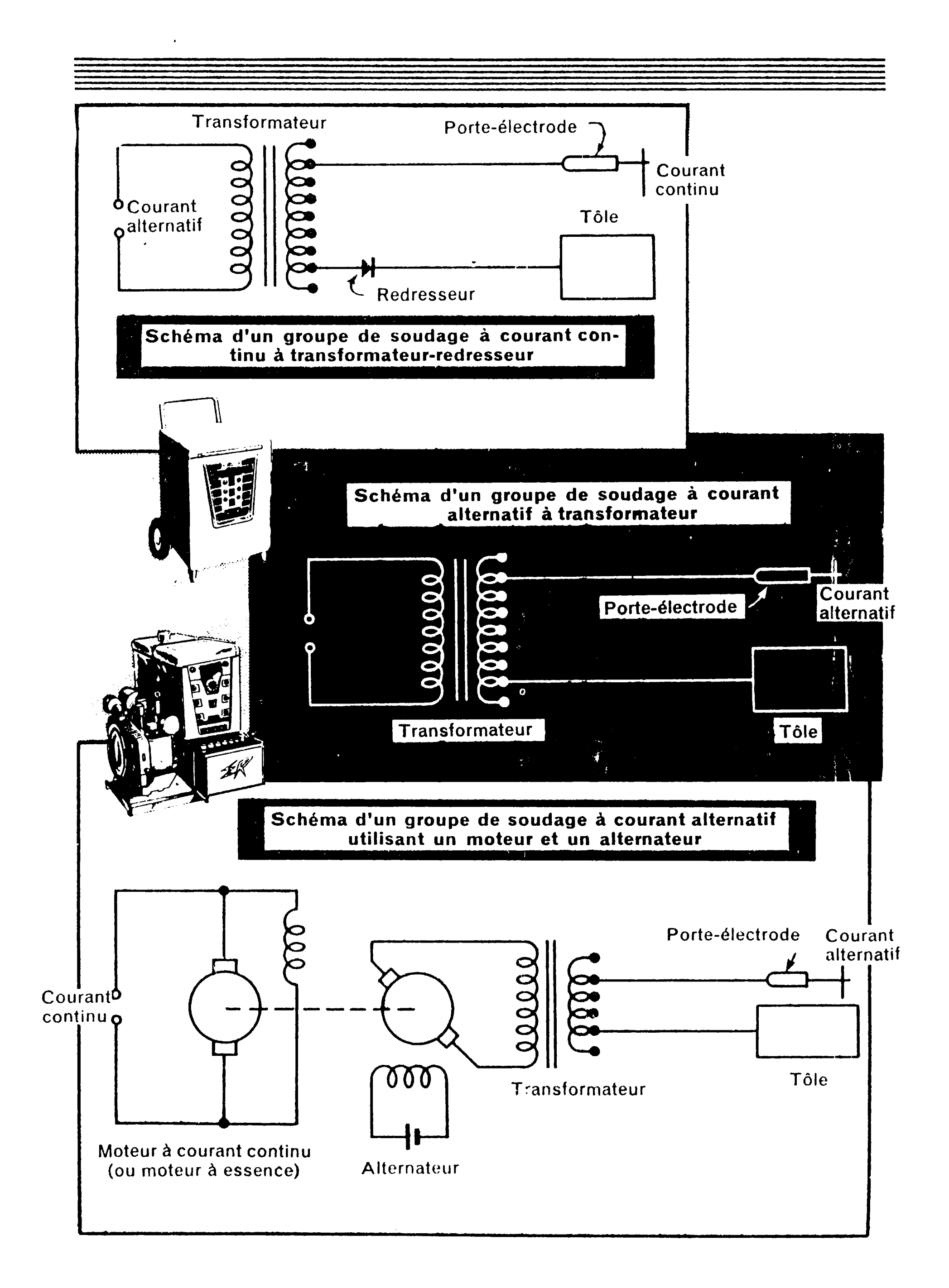
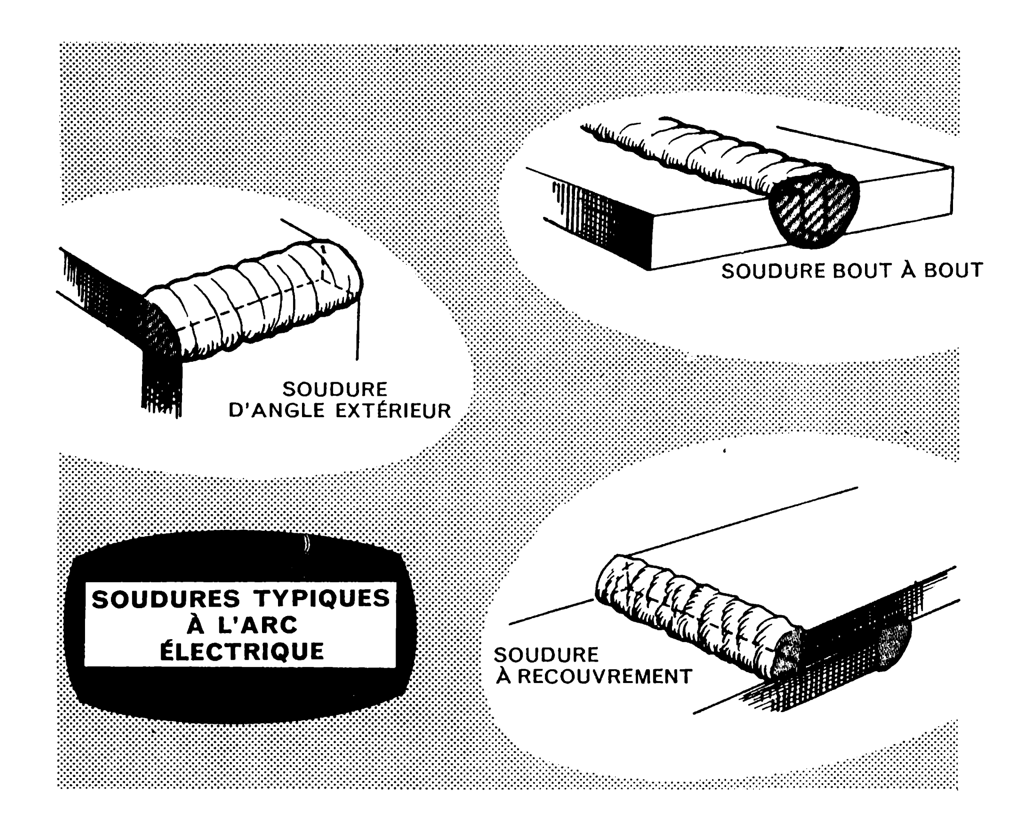


Schéma d'un groupe de soudage à courant continu utilisant un moteur et une génératrice


Transformateur
Porte-électrode
Courant continu
Courant alternatif
Tôle
Redresseur
Schéma d'un groupe de soudage à courant continu à transformateur-redresseur
Schéma d'un groupe de soudage à courant alternatif à transformateur
Porte-électrode
Courant alternatif
Transformateur
Tôle
Schéma d'un groupe de soudage à courant alternatif utilisant un moteur et un alternateur
Courant continu
Porte-électrode
Courant alternatif
Transformateur
Tôle
Moteur à courant continu
(ou moteur à essence)
Alternateur



Dans le soudage à l'arc en courant continu, les éléments qui doivent être assemblés sont reliés à une prise de masse, ou sont placés sur une table plate, elle-même reliée à la prise de masse. Ainsi, la pièce elle-même agit comme une électrode. Le second câble de soudage est relié à une pince porte-électrode à laquelle est adaptée une électrode métallique ou une électrode de charbon.

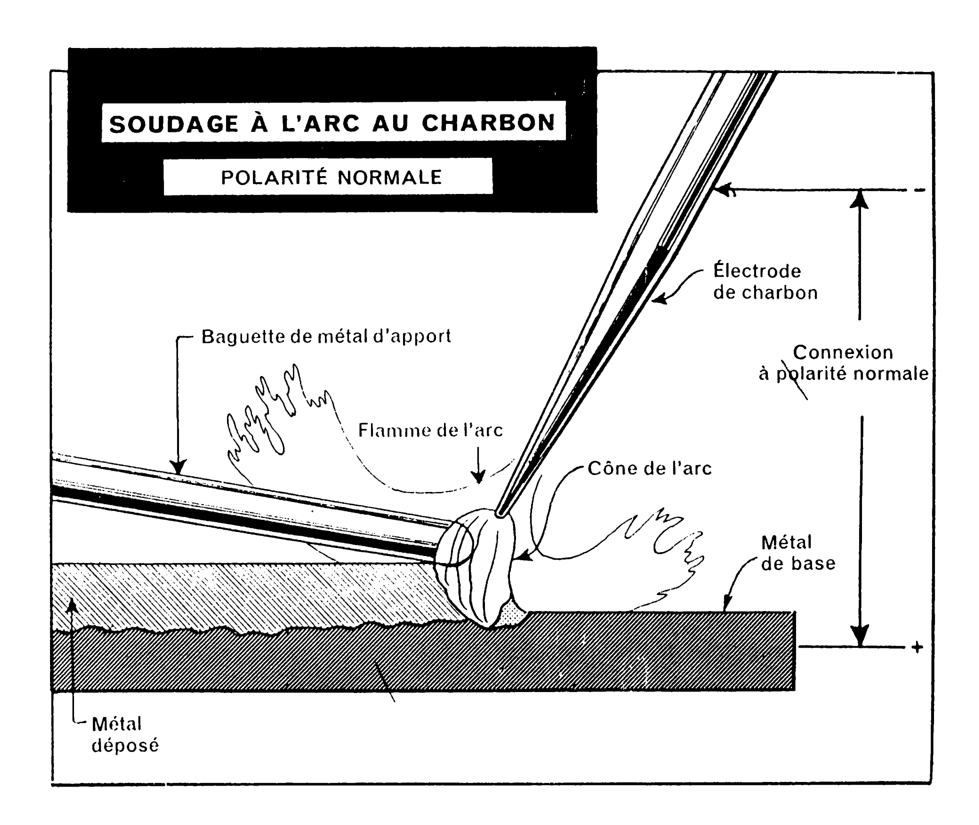
L'opération de soudage commence par un nettoyage soigné des bords à assembler. Ensuite, ces pièces métalliques sont mises en place par rapport à l'électrode.

Lorsque l'on emploie une électrode de charbon, l'opération commence par un léger contact de l'extrémité de l'électrode à proximité d'un des bouts de la ligne de soudure voulue. Ce contact entraîne le passage du courant électrique entre la pièce et l'électrode. L'extrémité de l'électrode est alors légèrement écartée de la pièce, et un arc est engendré entre la pièce et l'électrode. La chaleur de l'arc fait fondre le métal à l'endroit du joint et le métal des deux pièces se mélange et se soude. Pour assurer la continuation de la soudure, l'opérateur déplace l'extrémité de l'électrode le long du joint. S'il s'avère nécessaire d'ajouter du métal supplémentaire destiné à renforcer la soudure, l'extrémité d'un fil de métal d'apport peut être amenée à proximité puis en contact avec la région en fusion proche de l'arc. Au fur et à mesure de la fusion du fil, une alimentation continue assure son remplacement, et ainsi, une quantité suffisante de métal d'apport est amenée dans la zone en fusion.

Les électrodes de charbon employées en soudage à l'arc ont généralement 30 centimètres de longueur et de 3 à 25 millimètres de diamètre; le matériau est généralement du charbon cuit ou du graphite. Les températures engendrées dans la zone de l'arc varient de 3 200 à 3 700 c°. Le soudage en courant continu avec électrodes de charbon est généralement utilisé pour des métaux tels que le cuivre et ses alliages, l'aluminium et ses alliages, le monel (nickel, cuivre et fer) et le nickel. Cette méthode est également employée pour assembler de l'acier à du nickel ou à du monel.

Lorsqu'une électrode de charbon est utilisée pour une opération de soudage, en accord avec les indications ci-dessus, l'élément à souder est connecté à la borne positive de la source d'alimentation, et l'électrode de charbon est connectée à sa borne négative. En terminologie de soudage, on parle alors d'une connexion à « polarité normale ». Si on inverse les fils en provenance de la source de courant, on obtient une connexion à « polarité inverse ».

Dans les méthodes de soudage à l'arc au charbon, le métal en fusion dans la zone de l'arc est exposé à l'atmosphère. Certains métaux en fusion, par exemple l'aluminium, réagissent chimiquement avec l'air, ce qui peut diminuer la résistance de la soudure. Cette réaction chimique indésirable entre le métal en fusion et l'air peut être empêchée en introduisant dans l'arc un fil de fibre chimiquement traité; le gaz produit par la combustion du fil de fibre déplace et éloigne l'air, empêchant ainsi la réaction chimique indésirable. Cette technique s'appelle la « protection par écran gazeux ».



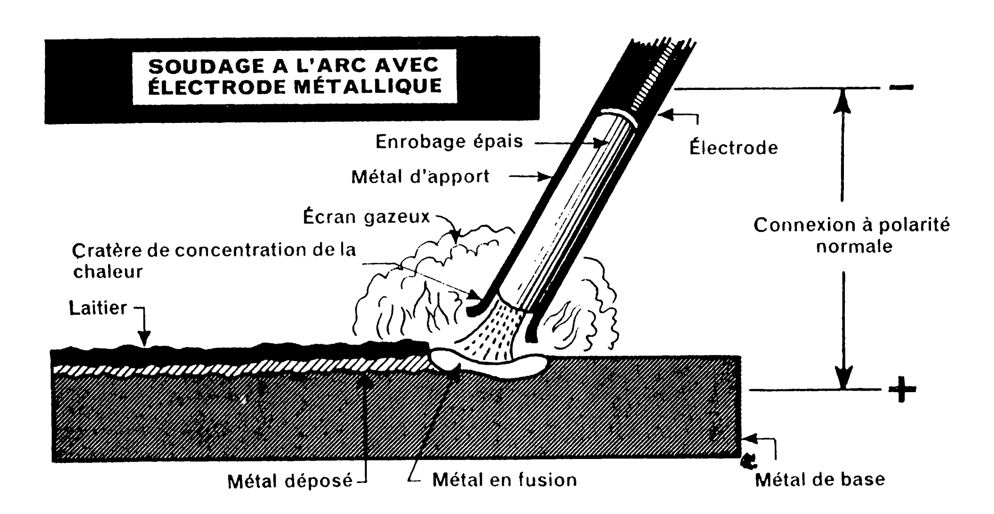
Le soudage à l'arc avec électrode métallique est un procédé semblable au soudage à l'arc au charbon. La différence essentielle réside en ce que l'arc est produit entre une électrode métallique constituant le métal d'apport, et les bords des deux éléments métalliques qui doivent être soudés. Pendant l'opération de soudage, l'extrémité de l'électrode arrive à son point de fusion, et des gouttelettes de métal d'apport tombent directement dans le bain de fusion du métal de base. Le champ magnétique qui entoure l'arc applique une force qui « arrache » effectivement de l'extrémité de l'électrode, des gouttelettes de métal en fusion, et le champ électrique aux bornes de l'arc attire ces gouttelettes dans la zone de la soudure. La vitesse de dépôt du métal d'apport dans le joint est très élevée, de sorte que l'opération complète est effectuée rapidement.

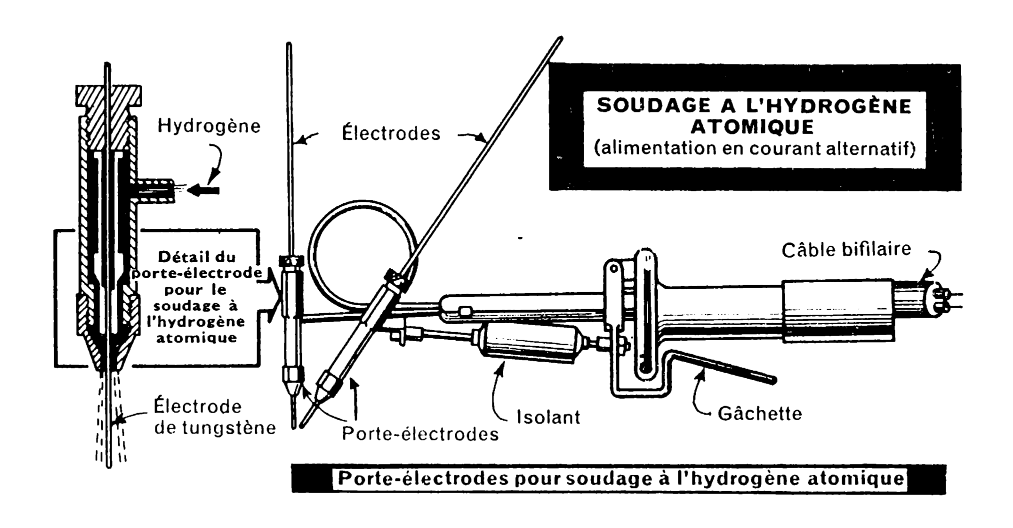
Les électrodes à âme en métal d'apport qui sont habituellement employées ont une longueur de 20 à 60 centimètres, tandis que leur diamètre varie de 1,6 à 8 mm. On dispose d'électrodes faites en de nombreux métaux différents de manière à former une liaison homogène en fonction du métal de base à assembler. Les électrodes sont enrobées de divers types de revêtements; ces derniers se composent de mélanges de carbonates, d'oxydes métalliques, de gommes, de cellulose et d'autres substances. Certains de ces matériaux assurent une protection par écran gazeux, d'autres réduisent les impuretés dans le métal fondu, d'autres encore facilitent la formation de petites gouttelettes de métal d'apport, et enfin, d'autres se consument plus lentement que le métal d'apport et forment ainsi un petit cratère qui concentre la chaleur de l'arc.

L'utilisation d'électrodes en acier nu ou à enrobage mince s'accompagne généralement de connexions à polarité normale. La polarité inverse est souvent employée pour le soudage de métaux tels que l'aluminium, le monel et le nickel.

Le soudage à l'arc avec électrode métallique peut être effectué en courant alternatif, et les détails sont pratiquement identiques à ceux déjà vus. Cette méthode est généralement utilisée avec des électrodes à enrobage épais.

L'équipement utilisé pour fournir le courant alternatif ressemble beaucoup à celui qui sert pour le soudage en courant continu. L'ensemble moteur-génératrice à courant alternatif est à peu près identique à celui qui a été décrit précédemment. Les transformateurs sont pratiquement les mêmes, et on n'utilise pas de redresseur.





Porte-électrodes pour soudage à l'hydrogène atomique

Examinons, maintenant, la torche de soudage avec deux électrodes de charbon. Dans ce dispositif, chacun des deux câbles de sortie en provenance d'une source de courant alternatif est connecté à une électrode de charbon. Un manchon isolé maintient les deux électrodes de charbon de manière que leurs extrémités soient rapprochées l'une de l'autre. En appuyant rapidement sur la gâchette, et donc sur les supports qui tiennent les électrodes, l'opérateur fait entrer les électrodes en contact, puis les sépare. Ceci entraîne la circulation du courant électrique, et un arc jaillit entre les extrémités des deux électrodes. Cette torche de soudage peut facilement être déplacée le long du joint des deux éléments en voie d'assemblage. La chaleur de l'arc fait fondre le métal des bords des deux éléments, et la fusion est ainsi effectuée. S'il est nécessaire de renforcer la soudure, on peut ajouter du métal d'apport. La torche de soudage peut être alimentée en courant continu, mais les électrodes se consomment alors à des vitesses inégales. L'utilisation de courant alternatif régularise la vitesse de combustion des deux électrodes.

Une autre technique de soudage qui emploie du courant alternatif est le « procédé à l'hydrogène atomique ». Cette méthode est très semblable au soudage avec une torche à arc au charbon, mais les deux électrodes sont en tungstène et un courant d'hydrogène diatomique est envoyé sur les extrémités des électrodes et dans l'arc. Les gaines métalliques qui assurent l'arrivée du gaz jusqu'aux porte-électrodes servent également au transport du courant électrique. Lorsque les molécules d'hydrogène arrivent dans l'arc, elles absorbent une partie de la chaleur produite par l'arc, et se décomposent pour former de l'hydrogène monoatomique. Après avoir traversé l'arc, les atomes d'hydrogène atteignent le joint et se recombinent alors pour former à nouveau des molécules d'hydrogène. La chaleur qui avait été absorbée lors du passage dans l'arc est alors libérée à l'endroit exact où elle est nécessaire pour produire la soudure. Comme dans le cas précédent, du métal d'apport peut être ajouté si cela s'avère nécessaire. Le flux d'hydrogène qui entoure la zone fondue empêche l'air d'atteindre le métal en fusion, et produit donc une protection par écran gazeux. Le soudage à l'hydrogène atomique est surtout utilisé pour souder des tôles minces de la plupart des métaux.

FOURS À ARC ET À RÉSISTANCE

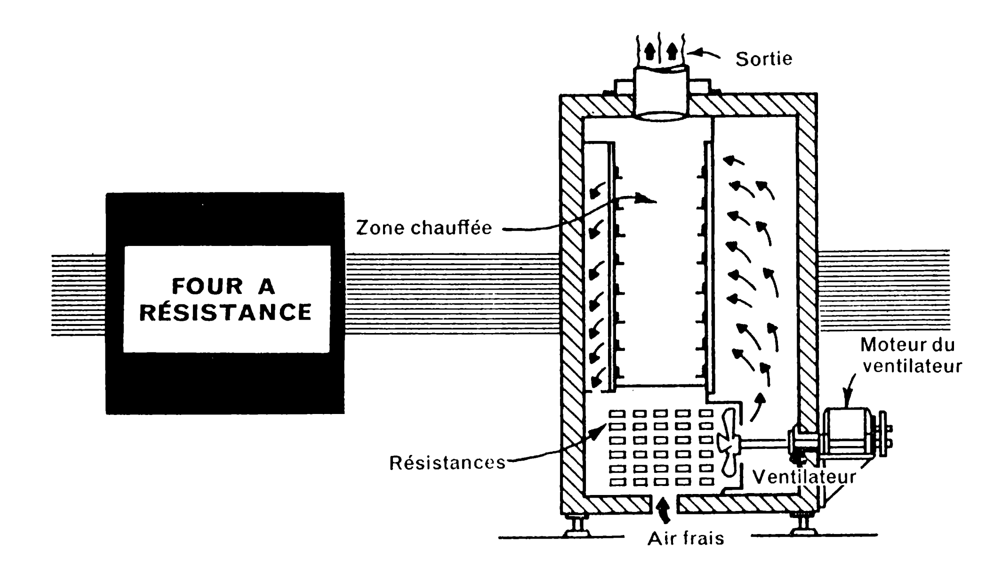
Les techniques du chauffage par résistance et par arc peuvent être utilisées dans des unités de chauffage à grande échelle, par exemple, dans les fours industriels.

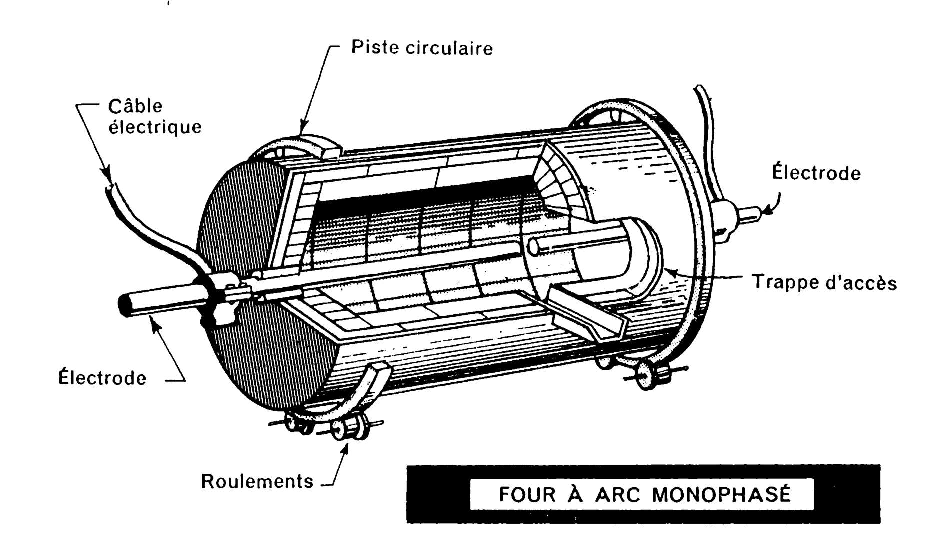
Dans les installations industrielles, les fours à résistance se composent de grandes chambres en briques réfractaires, en tuiles thermo-résistantes ou en autres matériaux isolants. Les résistances standard des fours ou les résistances spéciales à service continu bobinées sur des formes spéciales sont montées sur ou incluses dans les parois internes de la chambre. La chaleur des résistances et des parois est irradiée sur le matériau qui est dans la chambre. Des fours de ce type sont utilisés pour durcir et tremper de l'acier, pour cuire des revêtements de porcelaine sur de l'acier, pour recuire des métaux de tous types, traiter thermiquement du verre, assembler des éléments par brasage, et pour bien d'autres opérations similaires. La plupart du temps, la commande de la température de ces fours est assurée par un interrupteur thermo-sensible et parfois à l'aide d'un thermomètre à résistance ou d'un thermocouple.

Les principes du chauffage à l'arc sont également utilisés dans des fours employés pour fondre de l'acier et d'autres métaux afin d'obtenir des alliages de très bonne qualité. Le diamètre de ce type de fours peut atteindre 4 mètres, et ils peuvent fondre jusqu'à 10 tonnes de métal en une seule opération. L'illustration suivante représente la construction simplifiée d'un four de ce type; il se compose d'une chambre faite de matériaux thermo-résistants, et de deux ou trois électrodes qui traversent ses parois.

Lorsque l'on utilise du courant alternatif monophasé, deux électrodes traversent horizontalement les parois du four, et leurs extrémités rapprochées sont exactement au-dessus du métal qui doit être fondu. Le circuit et la formation de l'arc sont identiques à ceux de la torche de soudage à deux électrodes de charbon que nous avons examinée précédemment.

Lorsque l'on utilise du courant alternatif triphasé, trois électrodes verticales descendent du plafond du four. On utilise un transformateur abaisseur de tension triphasé, et chaque électrode est connectée à l'une des phases. Le métal qui se trouve dans le four est relié par un branchement en étoile à la sortie du transformateur. Ainsi, chaque électrode a une fonction semblable à celle d'une électrode de soudage à l'arc; l'arc se développe entre l'électrode et le métal qui va être porté à son point de fusion.





FOUR À ARC MONOPHASÉ

Électrodes

Parois de la chambre

Porte d'accès

Métal fondu

Charge de la chambre

Primaire

Secondaire

Connexion en étoile au transformateur

▭ = Électrode

o = Borne d'entrée

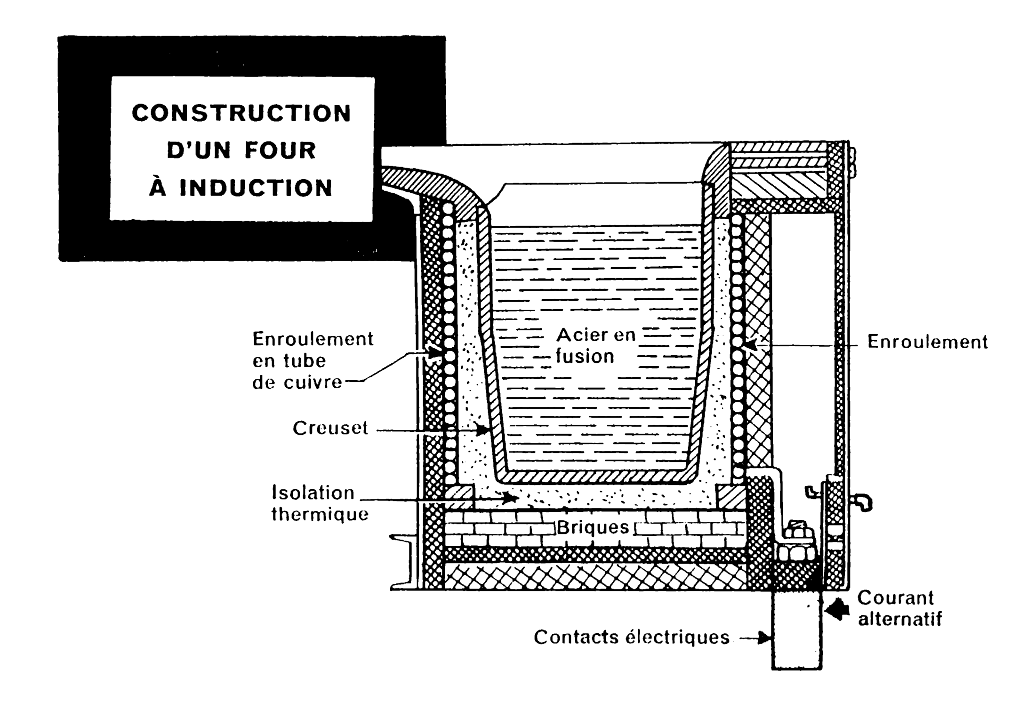
VUE EN COUPE D'UN FOUR À ARC À COURANT TRIPHASÉ

LE CHAUFFAGE PAR INDUCTION

Lors de votre étude de la production du courant électrique (volumes 1 et 3 de l'ÉLECTRICITÉ du programme COMMON-CORE) vous avez appris qu'un courant électrique peut être induit dans un fil conducteur, en plaçant ce dernier dans un champ magnétique alternatif. Ensuite, vous avez appris que lorsqu'une masse de métal est placée dans un champ magnétique alternatif, par exemple dans le cas des noyaux des transformateurs et des générateurs à courant continu, des courants électriques induits ou courants de Foucault se propagent dans la masse métallique. Dans les transformateurs et les générateurs à courant continu, les courants de Foucault sont, pour leur plus grande partie, supprimés par l'utilisation de noyaux feuilletés, c'est-à-dire composés d'un grand nombre de minces plaques métalliques partiellement ou complètement isolées électriquement les unes des autres.

Cependant, cet inconvénient apparent peut être transformé en avantage : il est possible de produire de la chaleur en induisant volontairement d'importants courants de Foucault dans une masse métallique. L'intensité des courants de Foucault dans le matériau métallique peut être rendue suffisante au point d'échauffer ce métal et de le porter à la fusion. Tel est le principe fondamental du chauffage par induction. Le four à induction, auquel nous allons à présent vous initier, en est une remarquable application pratique.

La figure suivante représente les principales caractéristiques d'un four de ce type. Le métal qui doit être fondu est placé dans un récipient (« creuset ») fait en matériau thermo-résistant. De nombreuses spires de tube de cuivre sont enroulées autour des parois du creuset. Un courant électrique alternatif circule dans les tubes en cuivre, et d'importants courants de Foucault sont induits dans le métal qui se trouve dans le creuset. Une eau de refroidissement circule dans les tubes pour empêcher ces derniers d'être endommagés du fait du chauffage par résistance produit par le courant électrique qui s'y propage et par la chaleur provenant des parois du creuset.



La capacité des fours industriels à induction atteint 5 tonnes pour l'acier, et jusqu'à 700 kilogrammes pour les autres métaux. Une vaste gamme de fréquences peut être utilisée, de 50 à plus de 500 000 hertz. Le choix de la fréquence relève toujours d'un compromis. Les hautes fréquences fournissent plus de chaleur et, par conséquent, accélèrent le processus de fusion. Cependant, il est difficile et cher de produire des grandes quantités de courant à de hautes fréquences. Il en résulte que la taille du four détermine la plus haute fréquence qu'il est économique de produire en tenant compte du nombre d'ampères requis.

Certains avantages particuliers s'attachent à l'utilisation de courants basse fréquence dans l'enroulement de tube de cuivre. Les courants de Foucault ont tendance à se propager suivant des parcours circulaires; ces parcours ont des faibles diamètres lorsqu'ils sont induits par des hautes fréquences, et des diamètres beaucoup plus importants lorsqu'ils sont induits par des basses fréquences. Lorsque les courants de Foucault se propagent suivant des parcours de grand diamètre, les champs magnétiques qu'ils engendrent interagissent avec les champs magnétiques de l'enroulement de cuivre extérieur. Comme dans le cas d'un moteur électrique, des forces mécaniques sont exercées sur les parcours des courants de Foucault, et des forts courants d'agitation se forment dans le métal en fusion.

EFFETS D'AGITATION DES COURANTS DE FOUCAULT

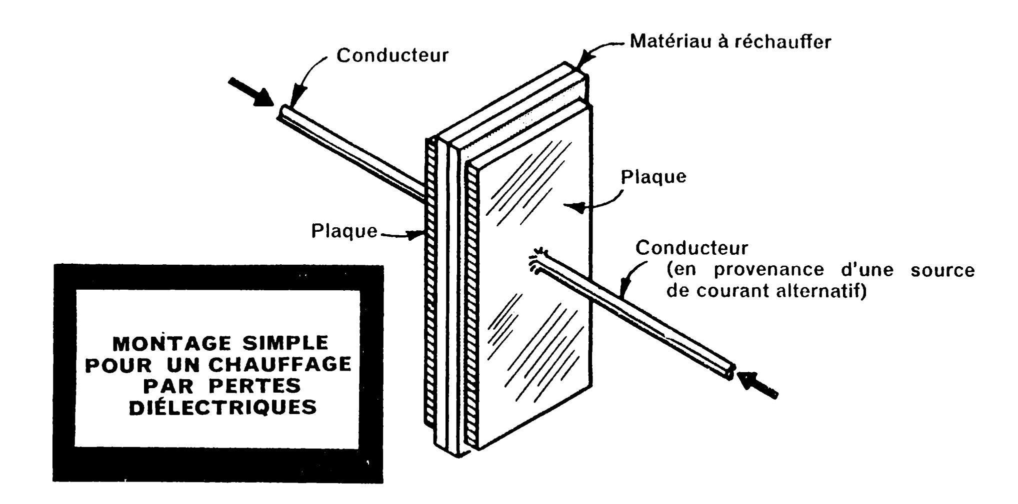
Métal fondu
Creuset
Courants d'agitation

Certains fours industriels à induction sont alimentés par du courant alternatif haute fréquence et du courant alternatif basse fréquence. D'abord, le courant alternatif haute fréquence est appliqué au bobinage d'induction, pour obtenir une fusion rapide. Ensuite, le courant basse fréquence est utilisé pour agiter le métal fondu dans le creuset.

La production du courant haute fréquence nécessaire au fonctionnement de grands fours à induction ne va pas sans poser un problème difficile. La méthode la plus économique consiste à utiliser des génératrices à courant alternatif conçues pour produire ces fréquences, mais cette méthode devient impraticable pour les fréquences supérieures à 7 500 hertz. Pour les milliers d'ampères nécessités par les grands fours où l'acier est agité, il est peu pratique d'utiliser cette méthode pour engendrer des fréquences supérieures à 750 hertz. Pour les petits fours employés pour les autres métaux, l'intensité nécessaire est plus faible, et on peut donc utiliser des fréquences allant jusqu'à 3 000 hertz.

Des fours à induction plus petits sont employés pour traiter thermiquement des petites pièces métalliques et des longueurs continues de barres et de tubes. Puisque de faibles quantités de matériaux sont amenées à des températures plus basses, les besoins en courant sont beaucoup plus faibles. Il en résulte que des fréquences pouvant atteindre 500 000 hertz peuvent être produites par des dispositifs électroniques dont le courant de sortie est beaucoup trop faible pour convenir à l'alimentation de grands fours industriels.

LE CHAUFFAGE PAR PERTES DIÉLECTRIQUES

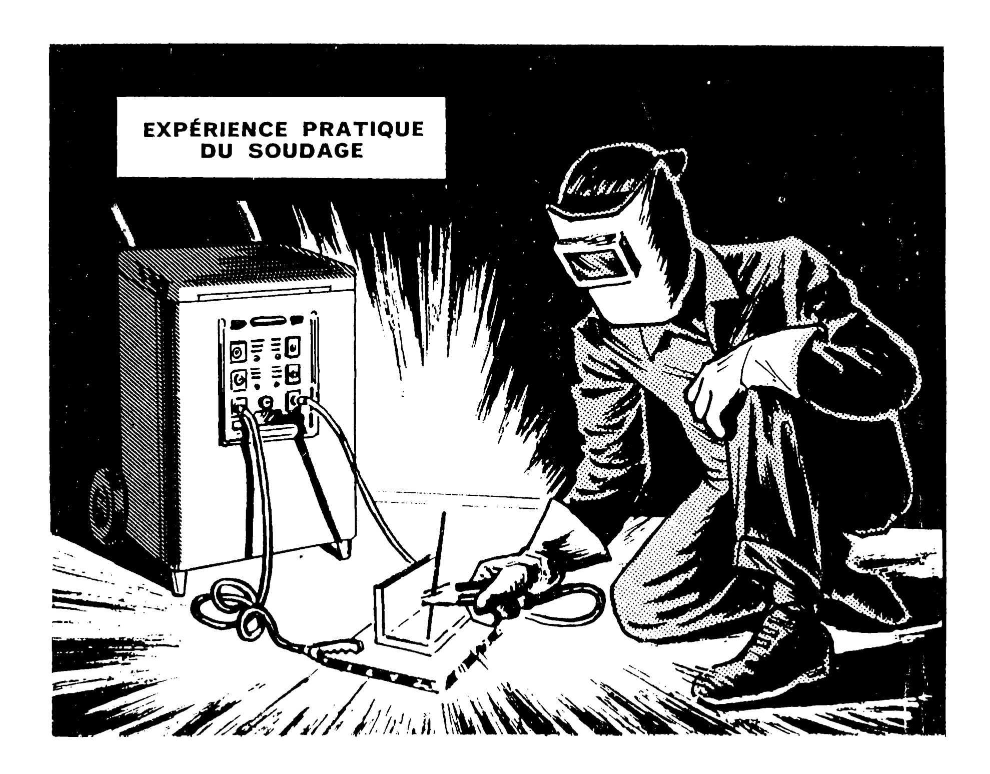


Dans le volume 3 de l'ÉLECTRICITÉ du programme COMMON-CORE, vous avez appris les principes de la capacité électrique et de la construction des condensateurs. Le diélectrique qui sépare les plaques du condensateur est placé dans un champ électrique et il résiste au courant électrique. Lorsqu'une tension alternative est appliquée entre les plaques d'un condensateur, le champ électrique change continuellement de direction. La modification rapide des forces qui agissent sur le diélectrique se traduit par une production de chaleur dans ce matériau.

Cet effet peut être utilisé pour traiter thermiquement des matériaux qui seraient difficiles à réchauffer par d'autres méthodes. Parmi ces traitements, nous pouvons citer le séchage et le collage du bois, les processus destinés à rendre les plastiques malléables, la vulcanisation du caoutchouc, le séchage des produits en cellulose et le réchauffement d'autres matériaux mauvais conducteurs de la chaleur. Une application typique est le traitement thermique de la colle entre des épaisseurs de contreplaqué. Le bois étant un mauvais conducteur de la chaleur, le chauffage de la colle s'en trouve compliqué. Le pressage des deux épaisseurs de bois entre des plaques ou des rouleaux chauffés semble être la solution évidente, mais les plaques ou les rouleaux ne peuvent être portés à une température suffisamment élevée pour accélérer le processus, car la surface extérieure du bois serait brûlée ou tout au moins roussie par la chaleur. Il faut donc porter les rouleaux ou les plaques à une température qui ne risque pas de brûler le bois, mais la chaleur met alors longtemps à traverser le bois pour atteindre la colle. Le chauffage par pertes diélectriques est un processus beaucoup plus rapide car la chaleur est produite dans l'ensemble du volume formé par le bois et la colle, et elle n'a pas à pénétrer à partir des surfaces externes.

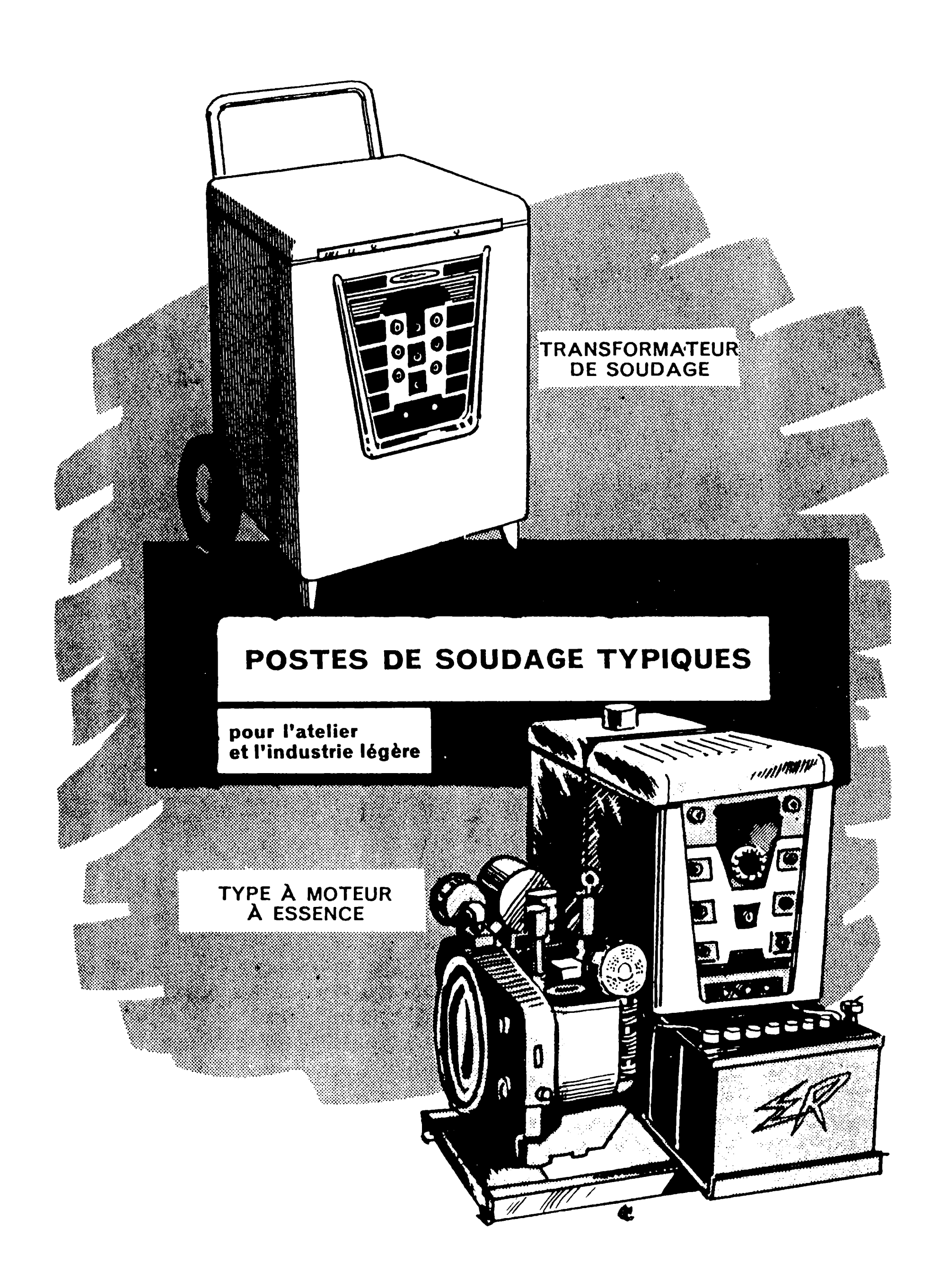
La chaleur engendrée dans le matériau est déterminée par sa constante diélectrique, la tension, la fréquence, la perméabilité du matériau et son épaisseur. D'une manière générale, pour une tension constante, la chaleur développée augmente avec la fréquence de la tension appliquée. Cependant, puisque la perméabilité change également avec la fréquence, des fréquences différentes donnent de meilleurs résultats avec des matériaux différents. Les fréquences habituellement employées dans les utilisations industrielles varient entre 1 000 000 et 50 000 000 de périodes. Les génératrices à courant alternatif ne peuvent être utilisées pour produire ces fréquences, aussi, à cet effet, emploie-t-on exclusivement des techniques électroniques.

SOUDAGE ET CHAUFFAGE PAR RÉSISTANCE — EXPÉRIMENTATION



Dans cette expérience, vous allez apprendre les principes élémentaires du soudage et du fonctionnement du four à arc. Cette expérience n'est pas destinée à vous faire devenir un soudeur qualifié : à cet effet, il vous faudrait suivre un cours spécialisé accompagné d'applications réelles. Cependant, vous pourrez voir et étudier l'équipement et les techniques utilisées. Le matériel nécessaire est un équipement portatif fonctionnant sur courant alternatif, du type de ceux qui sont utilisés pour la réparation des voitures et pour le bricolage. Les équipements de ce type comportent généralement un transformateur à refroidissement par air avec un secondaire muni d'un certain nombre de prises, une paire de câbles de connexion servant à relier le secondaire du transformateur à la pièce à souder, un porte-électrode et une pince de masse, diverses baguettes de soudure, un masque de soudage, des gants de protection, et un manuel de l'opérateur. Parmi les accessoires disponibles, figurent une torche de soudage à électrodes de charbon et un appareil de soudage par points. Un équipement de ce type et un petit creuset en graphite vous permettront d'apprendre les principes et les techniques du soudage à l'arc ainsi que le fonctionnement d'un four à arc.

Pendant toutes les opérations de soudage à l'arc, l'opérateur met un masque, des gants spéciaux et un habit protecteur. Le masque comporte une ouverture équipée d'un verre très fortement teinté; ce verre est destiné à protéger les yeux de l'opérateur contre les fortes radiations infrarouges et ultraviolettes émises par l'arc. Les autres équipements protecteurs sont destinés à empêcher que l'opérateur ne soit brûlé par des goutelettes de métal en fusion projetées pendant l'opération. Lorsqu'ils observent une opération de soudage à l'arc, tous les participants de la classe doivent porter des lunettes protectrices et se tenir suffisamment éloignés pour être à l'abri des projections de métal en fusion.


TRANSFORMATEUR
DE SOUDAGE
POSTES DE SOUDAGE TYPIQUES
pour l'atelier
et l'industrie légère
TYPE À MOTEUR
À ESSENCE

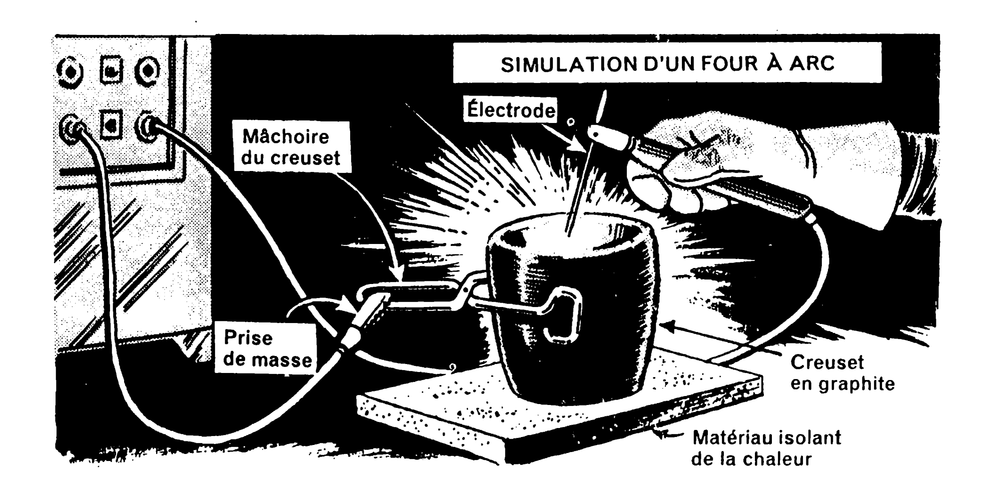
Commencez l'expérience en lisant le manuel de l'opérateur, afin de vous familiariser avec la machine à souder que vous allez voir fonctionner. La plupart des transformateurs de soudage étant montés dans des coffrages métalliques, vous devrez ouvrir le panneau arrière (ou toute autre paroi métallique facilement démontable) de façon à pouvoir examiner la construction interne. Faites un schéma de la construction, et faites un croquis représentant tous les interrupteurs, toutes les commandes et prises du transformateur. Pour une explication des caractéristiques spéciales que vous ne comprenez pas, reportez-vous au manuel de l'opérateur, ou renseignez-vous auprès de votre instructeur.

La seconde partie de l'expérience consiste à souder à l'arc deux éléments métalliques. Les principales étapes de cette opération sont exposées dans cette section, et les instructions relatives à l'équipement que vous utilisez figurent dans le manuel accompagnant la machine à souder.

La troisième partie de cette expérience consiste à souder deux éléments métalliques à l'aide de la torche de soudage. Ici encore, les principaux détails de cette opération ont été décrits dans cette section, et les instructions spéciales relatives à l'équipement peuvent être trouvées dans le manuel de la machine à souder.

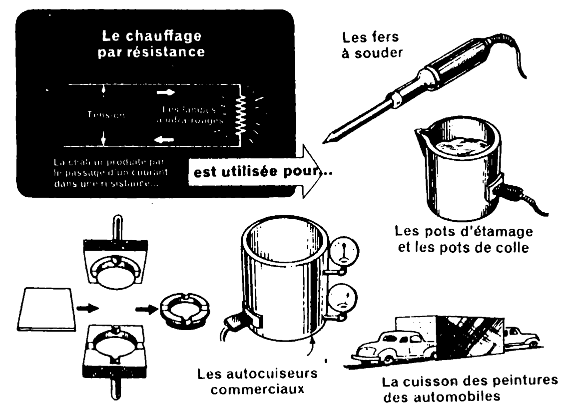
La quatrième partie de cette expérience consiste à utiliser le dispositif accessoire de soudage par points pour souder deux plaques de tôle. En ce qui concerne les principes et les instructions détaillées, il faut vous référer à la présente section ainsi qu'au manuel qui accompagne l'équipement.

Pour la dernière partie de cette expérience, vous pouvez utiliser l'équipement de soudage pour simuler le fonctionnement d'un four à arc. À cet effet, connectez la prise de masse à l'anse ou à une mâchoire mobile fixée à un petit creuset en graphite. Placez quelques chutes de métal dans le creuset. Procédez au réglage du transformateur de manière qu'il soit sur sa plus faible intensité nominale. Ensuite, en utilisant une électrode de charbon, créez un arc entre l'extrémité de l'électrode et le sommet des chutes de métal qui sont dans le creuset. Si le métal ne fond pas rapidement, augmentez le courant fourni par le transformateur. Lorsque le métal a fondu, arrêtez l'arc et laissez le creuset refroidir. Lorsque le refroidissement est terminé, retournez le creuset, un seul « lingot » de métal s'en échappera. Ceci indique que les chutes de métal ont complètement fondu, et qu'ensuite, elles ont été moulées, en forme, au fond du creuset.

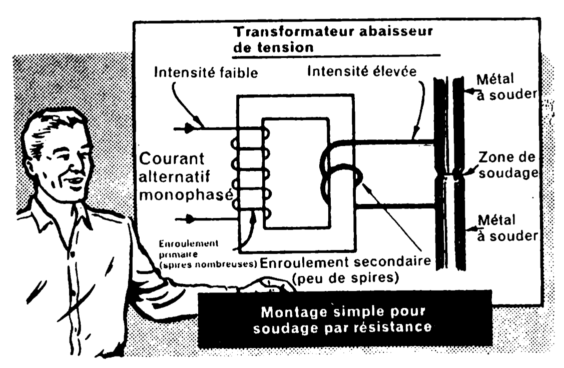


SOUDAGE ET CHAUFFAGE ÉLECTRIQUE – RÉVISION

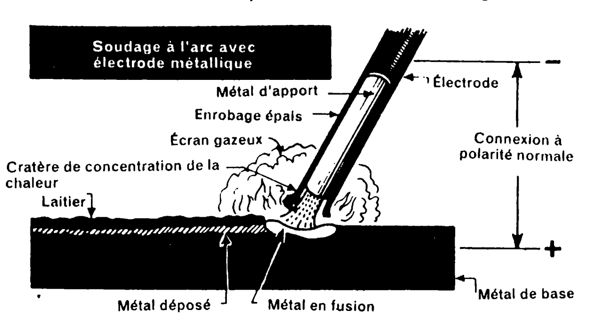
CHAUFFAGE PAR RÉSISTANCE — Lorsqu'un courant électrique traverse une résistance, il y a production de chaleur. Le passage du courant électrique dans du fil résistif est utilisé pour chauffer des fers à souder, des pots d'étamage et des pots de colle, des fours ménagers et industriels, des presses pour matriçage à chaud, ainsi qu'un grand nombre d'autres ustensiles ménagers et industriels.



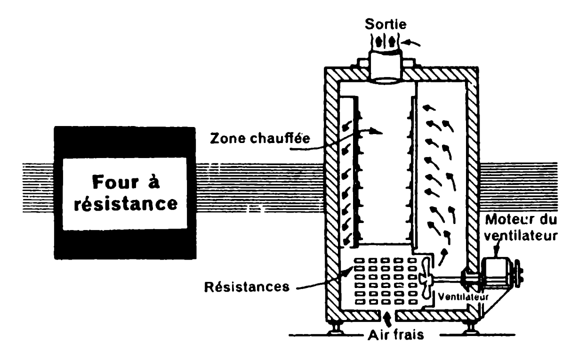
SOUDAGE PAR RÉSISTANCE — En soudage par résistance, un courant électrique de forte intensité est appliqué à une petite zone de contact entre deux éléments métalliques, et la résistance dans le plan du joint engendre une chaleur suffisante pour porter à fusion les deux éléments à cet endroit. Ce même principe est appliqué dans les divers procédés de soudage : par points, automatique par points, bout à bout, par étincelage, par bossage et à la molette; les différences sont relatives aux techniques appliquées pour amener les éléments métalliques en contact et pour appliquer le courant.



SOUDAGE À L'ARC — Lorsqu'un courant électrique forme un arc dans l'espace qui sépare deux électrodes, les températures ainsi produites sont de l'ordre de plusieurs milliers de degrés. Ces températures sont suffisantes pour fondre le métal qui se trouve dans le joint entre les deux éléments à souder. Du métal supplémentaire est souvent ajouté pour faciliter la fusion et renforcer la soudure. L'arc peut être établi entre la pièce à souder et une électrode, ou encore entre deux électrodes.

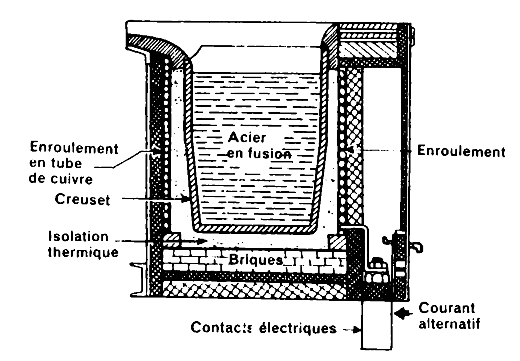


FOURS ÉLECTRIQUES — Les techniques du chauffage à l'arc et par résistance peuvent être développées et utilisisées sur une grande échelle, par exemple dans des fours industriels. Les fours à résistance sont utilisés pour des processus spéciaux dans lesquels de très grandes quantités de chaleur ne sont pas nécessaires. Les fours à arc sont utilisés pour fondre jusqu'à 10 tonnes de métal à la fois.

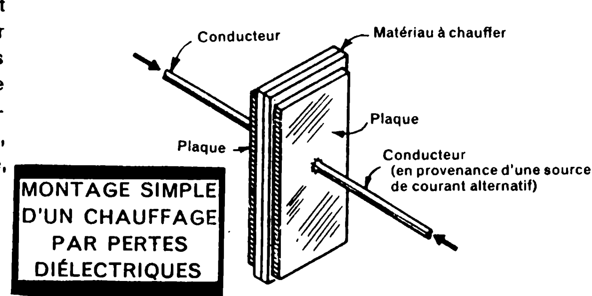


CHAUFFAGE PAR INDUCTION — Un champ magnétique alternatif induit un flux de courant électrique dans le métal. La chaleur engendrée par la résistance du métal peut être rendue suffisamment importante pour fondre le métal. La capacité des fours à induction utilisés pour l'acier peut atteindre 5 tonnes, et jusqu'à 700 kilogrammes pour les autres métaux. Les fréquences utilisées varient entre 50 et 500 000 hertz

CONSTRUCTION D'UN FOUR À INDUCTION



CHAUFFAGE PAR PERTES DIÉLECTRIQUES — Lorsqu'une tension alternative est appliquée à deux plaques métalliques entre lesquelles se trouve un matériau diélectrique, ce matériau est chauffé. Cet effet est utilisé pour traiter thermiquement des matériaux qui sont mauvais conducteurs de la chaleur et qui sont difficiles à chauffer par d'autres procédés. Les applications les plus typiques comprennent le collage des épaisseurs formant le contreplaqué, la vulcanisation du caoutchouc, le séchage des produits en cellulose, ainsi que d'autres processus.



MONTAGE SIMPLE D'UN CHAUFFAGE PAR PERTES DIÉLECTRIQUES

SYSTÈMES DIVERS DE CONTRÔLE INDUSTRIEL



Dans les sections précédentes, vous avez étudié les principales utilisations de l'électricité dans l'industrie. Pour compléter vos connaissances, il est bon que vous puissiez examiner diverses applications de l'électricité dans l'industrie et dans des domaines voisins. Les points qui seront étudiés ici comprennent des exemples de systèmes électriques de contrôle utilisés pour la sécurité du travail et la lutte contre l'incendie dans les entreprises industrielles, ainsi que ceux utilisés pour faire fonctionner les ascenseurs, les presses d'imprimerie, les automobiles et les avions. La commande et le contrôle des processus industriels par un ordinateur travaillant en temps réel seront également abordés.

Vous devez être averti du fait que la plupart de ces installations se composent de nombreux systèmes et dispositifs de contrôle. Pour ceux que cela intéresse particulièrement, la plupart de ces installations ou presque, méritent un volume descriptif et explicatif au moins aussi important que le présent ouvrage. Cependant, pour une première arppoche, il suffit d'examiner les principales caractéristiques de ces installations. Il en résulte que les pages suivantes seront consacrées à une présentation de ces divers sujets; cette présentation comportant une description qui insistera seulement sur les grandes lignes et caractéristiques particulières des divers systèmes étudiés.

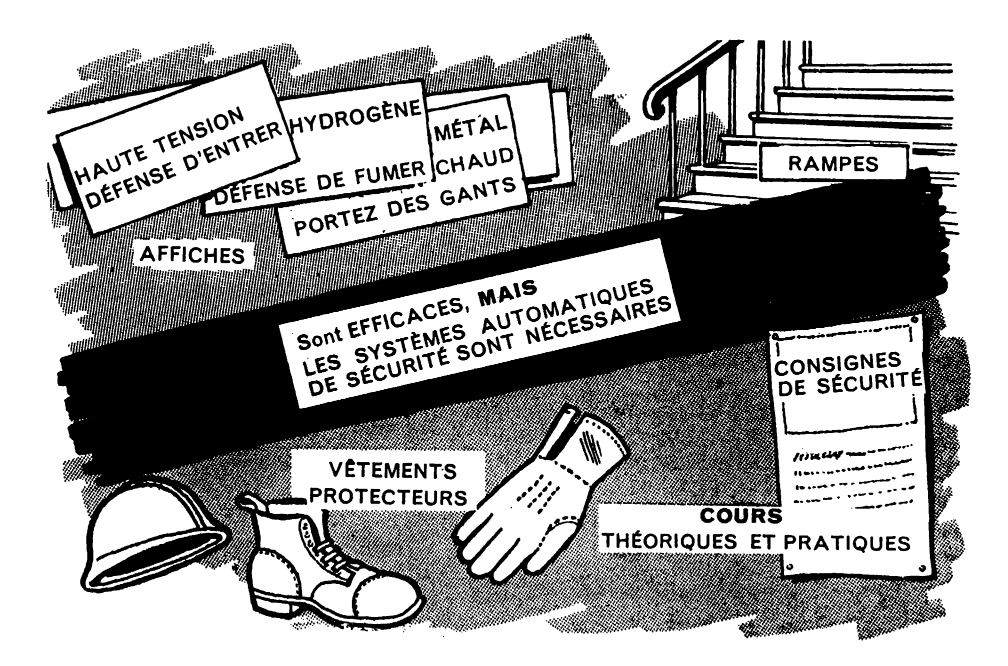
SYSTÈMES DE SÉCURITÉ

De nombreux processus industriels font intervenir des montages et des équipements dont le fonctionnement est dangereux pour l'homme. Un grand nombre de ces dangers sont évidents pour les nouveaux venus, mais sont souvent négligés par les personnes expérimentées. Une personne qui visite une scierie aura tendance à se tenir à une bonne distance des diverses scies, et des autres outils de coupe qui fonctionnent. Elle se tiendra également bien éloignée des outils de meulage, de coupe, de cintrage et de perforation qui sont utilisés dans les usines de production de tôles. En revanche, un homme qui a travaillé avec ces dispositifs pendant de nombreuses années a tendance à oublier les dangers inhérents à ces machines, et il devient une victime potentielle.

Certains des dangers qui existent dans des entreprises industrielles n'apparaissent pas immédiatement aux nouveaux-venus alors qu'ils sont bien connus des travailleurs de l'entreprise. Parmi ces dangers, citons le fait de marcher dans des zones où des hommes ou des machines déplacent des matériaux, le fait de toucher des objets chauds qui semblent froids, et enfin, le fait de fumer dans des zones où sont disposés des matériaux inflammables ou explosifs.

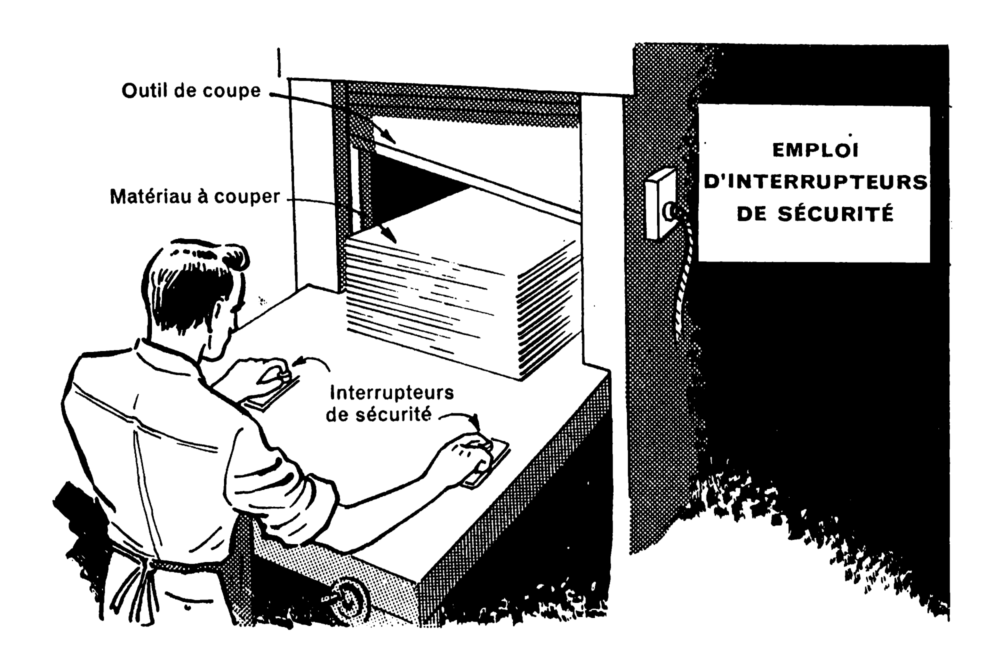
Presque chaque entreprise industrielle a un cours permanent de sécurité destiné à tous ses employés. Ces cours comprennent une initiation au bon emploi du matériel, un entraînement de groupe pour le maniement de matériaux dangereux, et une étude générale de toutes les conditions et situations potentiellement dangereuses qui se présentent dans l'entreprise. Ce cours est complété par un grand nombre d'affiches placées dans les zones ou sur les équipements dangereux : « Portez des lunettes protectrices », « Métal chaud — portez des gants », « Hauteur libre 1 m 70 », « Hydrogène — Défense de fumer », « Attention aux camions », « Haute-tension — Entrée interdite », etc.

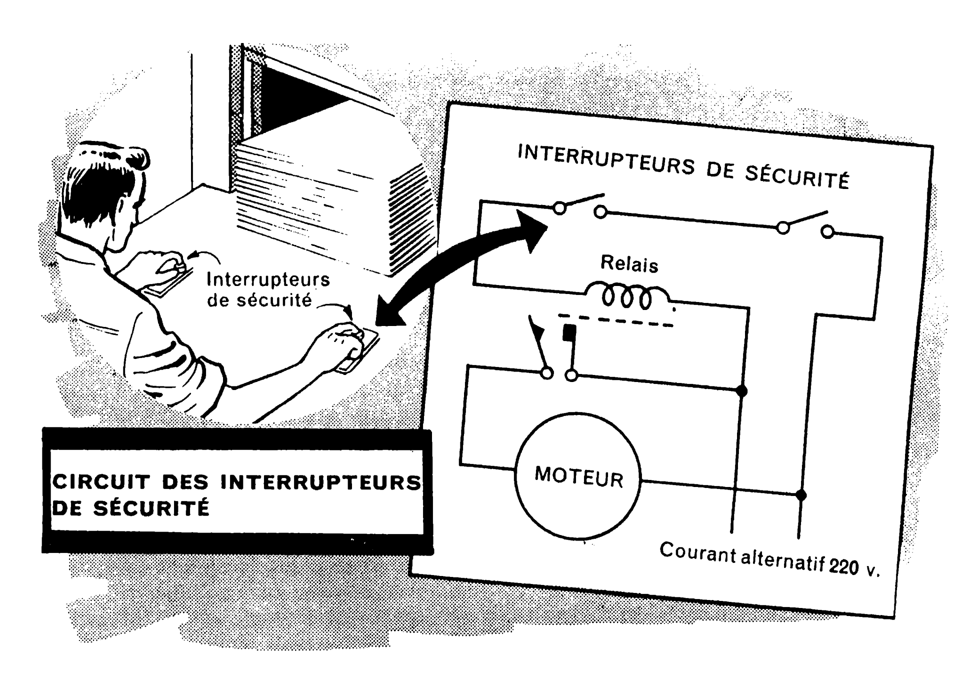
Une information continue et efficace accompagnée de l'emploi de vêtements de protection, de rampes d'escalier, de casques, de portes verrouillées, et d'un affichage judicieux des panneaux avertisseurs aide beaucoup à diminuer le nombre des accidents. Ce nombre, fort heureusement, est devenu très faible.



Dans certaines fabrications industrielles, le danger est tellement grand, que les cours de formation, les vêtements de protection et les affiches ne suffisent pas à assurer une sécurité à long terme des travailleurs. Dans ces cas, quelques dispositifs électriques élémentaires peuvent être utilisés pour obliger un opérateur à respecter les impératifs de sécurité et pour l'habituer à se plier automatiquement à des procédures éliminant le danger. La réalisation de la plus grande partie de ces dispositifs électriques nécessite seulement l'emploi de quelques interrupteurs simples. Le montage est conçu de manière que l'opérateur n'ait pas à mettre ses mains ou ses pieds sur le parcours d'outils de coupe, et qu'il suive des procédures sûres lorsqu'il pénètre ou lorsqu'il travaille dans des zones dangereuses.

Un exemple devrait suffire à montrer comment l'utilisation de quelques interrupteurs peut protéger les mains et les pieds de l'opérateur alors qu'il emploie un outil de coupe. Cette machine est des plus élémentaires : le matériau est placé sur une table de travail, et un outil actionné par un moteur électrique le coupe automatiquement. La manière la plus naturelle d'employer cette machine serait que l'opérateur se serve de ses mains pour maintenir le matériau dans la position voulue, et qu'il appuie et relâche un interrupteur au pied pour démarrer et arrêter l'opération de coupe. Cependant, une main ou un pied peuvent se trouver par négligence sur le parcours suivi par l'outil de coupe. Un ingénieur du service sécurité détermine donc les positions correctes et protégées que doivent occuper les mains et les pieds de l'opérateur. Il fait placer ensuite des interrupteurs à ces endroits. Il est souhaitable de placer chaque interrupteur sur une poignée employée pour guider l'outil de coupe, ou pour guider ou agripper le matériau. Cependant, lorsqu'une main ou un pied ne peuvent être affectés à une fonction déterminée, il est bon que l'opérateur puisse le conserver dans une position à la fois sûre et confortable. Tous ces interrupteurs sont câblés en série avec le moteur électrique ou le dispositif hydraulique qui actionne l'outil de coupe, ou encore, en série avec la bobine d'un relais dont les contacts fournissent l'énerige au moteur.

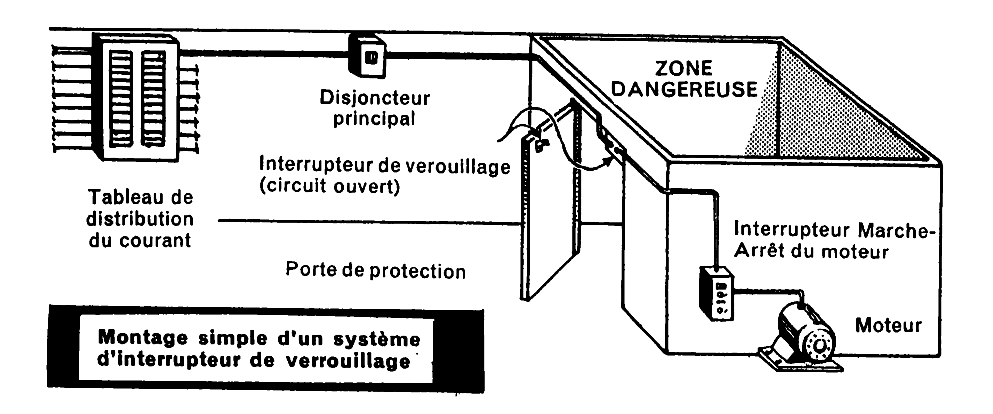




CIRCUIT DES INTERRUPTEURS DE SÉCURITÉ

Ainsi, l'opérateur doit respecter une procédure de sécurité avant de pouvoir mettre la machine en marche. D'abord, il doit placer le matériau sur la table en respectant la position déterminée. Ensuite, il doit arrimer le matériau convenablement. Et enfin, il doit mettre ses deux mains et ses deux pieds sur les divers interrupteurs de sécurité, et c'est seulement à ce moment qu'il peut fermer les contacts. L'outil de coupe commence alors à fonctionner. Pendant le déroulement de l'opération de coupe, l'opérateur peut décider brusquement que le matériau ou l'outil de coupe doivent être ajustés. Si les interrupteurs de sécurité n'existaient pas, il pourrait essayer de faire le réglage nécessaire sans prendre de précautions, et s'exposer ainsi à une blessure possible. Mais, avec les interrupteurs de sécurité, le courant est coupé dès que l'opérateur enlève sa main ou son pied de la position qui lui est affectée. Si le montage est tel que l'outil ne s'arrête pas rapidement lorsque le courant est coupé, le relâchement de l'un quelconque des interrupteurs peut être utilisé pour exciter un frein, ou pour placer une plaque protectrice devant la zone de coupe.

Lorsqu'un opérateur est bien formé à l'utilisation d'un équipement muni d'interrupteurs de protection de ce type, il apprécie le but auquel ils répondent, et il respecte la procédure de sécurité lorsqu'il travaille sur du matériel qui n'est pas muni d'un système de sécurité aussi élaboré. Les montages de ce type devraient toujours être conçus par des ingénieurs spécialisés dans les problèmes de sécurité, et leur conception doit être telle qu'ils soient très pratiques pour l'opérateur. Si l'équipement n'est pas dangereux pour les pieds, ces derniers ne doivent pas être utilisés pour actionner des interrupteurs de sécurité. Si une seule main est en danger, seule cette main doit être employée pour actionner un interrupteur de sécurité. Toutes les fois que cela est possible, la main qui risque d'être blessée doit être occupée à une tâche utile telle que le guidage ou la fixation, et l'interrupteur de sécurité doit être placé sur la commande de cette fonction. Remarquons toutefois qu'une utilisation excessive et illogique des interrupteurs de sécurité déplaît aux opérateurs et les encourage à trouver des moyens pour neutraliser le but ou le fonctionnement des interrupteurs.



Montage simple d'un système d'interrupteur de verrouillage

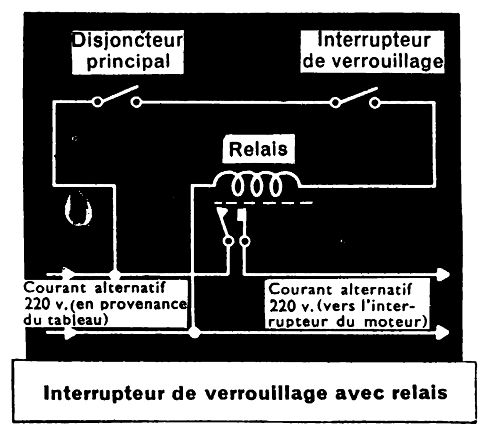
Une autre catégorie d'équipements de sécurité est destinée à la protection des hommes qui travaillent dans une zone dangereuse. Dans ces cas, la formation habituelle et les affiches ne suffisent pas, et le danger doit être supprimé ou réduit avant qu'un homme puisse pénétrer dans la zone pour y effectuer son travail.

Par exemple, supposons un dérangement dans une cabine contenant des connexions et des câbles à haute tension ou dans un local comportant un risque d'accident purement mécanique, tel que celui que présente un système d'engrenages rotatifs. Pour effectuer la réparation, il faut qu'un réparateur ouvre la porte de protection pour pénétrer ensuite, entièrement ou en partie, dans la cabine ou dans le local. On peut considérer que ce réparateur sera suffisamment protégé s'il coupe l'alimentation en courant de l'équipement avant de procéder à l'ouverture de la porte de protection. Cependant, ce procédé n'est pas entièrement sûr. D'abord, il est possible qu'un réparateur qui ne connaît pas bien l'installation oublie de couper le courant. En outre, il est également possible qu'une autre personne, ignorante de la réparation en cours, rétablisse le courant alors que le réparateur est dans la cabine. Le réparateur peut poser une affiche sur le disjoncteur, pour indiquer qu'il est en train de procéder à des réparations. Mais il arrive que les affiches tombent ou qu'il n'en soit pas tenu compte.

Il existe un système de sécurité parfaitement sûr : « l'interrupteur de verrouillage ». Ce dispositif n'est rien d'autre qu'un interrupteur monté sur la porte de protection du matériel. Lorsque l'on ouvre la porte, l'interrupteur est ouvert simultanément, et le courant est automatiquement coupé jusqu'à ce que la porte soit refermée. Lorsqu'un système de verrouillage est bien conçu et bien installé, personne ne peut rétablir le courant tant que la porte de protection est ouverte. Dans un tel système, une procédure de sécurité adéquate consiste, pour l'opérateur, à mettre l'interrupteur principal et l'interrupteur de l'équipement en position « Arrêt », et à accrocher des panneaux indiquant que des travaux sont en cours. Il doit ouvrir ensuite la porte de protection, effectuer la réparation, refermer la porte, réenclencher le disjoncteur principal, actionner l'interrupteur de l'équipement pour vérifier le bon fonctionnement de ce dernier et, enfin, enlever les panneaux qu'il avait placés avant la réparation. La coupure des deux interrupteurs, et le fait de placer des affiches indiquant l'exécution des travaux répond à un but simple : empêcher que quelqu'un, qui se trouve à proximité de l'équipement, ne soit blessé par la brutale application de la tension qui se produirait après la réparation lors de la fermeture de la porte de protection. Cette porte assure, en effet, la fermeture de l'interrupteur de verrouillage.

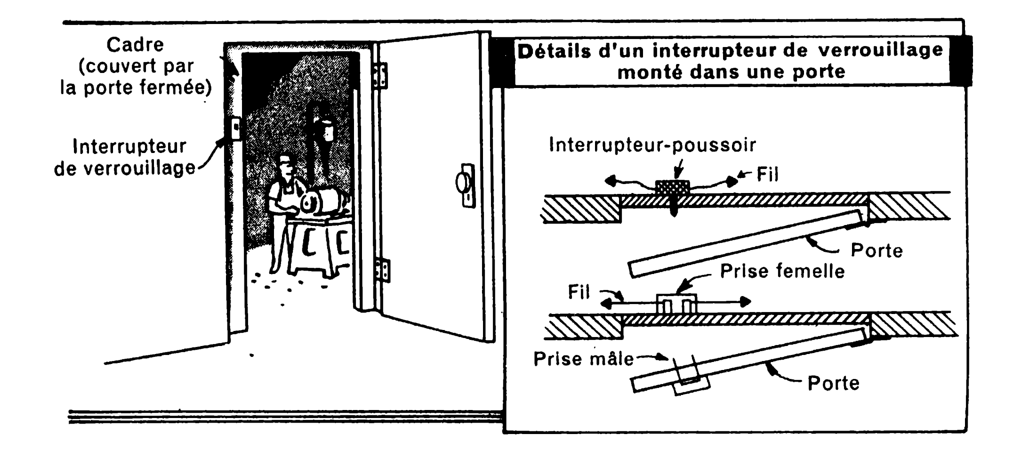
Il existe deux méthodes principales pour réaliser un système de verrouillage. La première consiste à mettre l'interrupteur de verrouillage en série avec la ligne de courant, avant que celle-ci ne parvienne à l'interrupteur marche-arrêt de l'équipement. L'interrupteur de verrouillage est fermé par la porte de protection de l'équipement.

Lorsque la porte de protection est ouverte, les contacts de l'interrupteur s'ouvrent, et tous les fils « sous tension » sont déconnectés de l'équipement. Un des types d'interrupteurs de verrouillage ressemble à un interrupteur-poussoir, et le bord de la porte de protection fournit la pression qui assure le maintien en position enfoncée de l'interrupteur-poussoir et assure la fermeture des contacts. Mais ce type d'interrupteur peut se trouver bloqué en position fermée par une accumulation de poussière ou par l'oxydation du ressort. Un dispositif plus sûr consiste en une prise femelle montée dans le cadre de la porte, et en une prise mâle correspondante fixée sur la porte même. Les fiches de la prise mâle sont reliées par un fil conducteur, de telle manière que les circuits « sous tension » de la prise réceptrice soient fermés lorsque la prise est insérée dans la prise réceptrice femelle, et ouverts lorsque la prise mâle est retirée lorsque l'on ouvre la porte.



Interrupteur de verrouillage avec relais

Le montage qui a été décrit convient pour des équipements qui ne demandent pas une trop grande quantité de courant à la ligne d'alimentation. S'il s'agit de courants importants, il peut y avoir établissement d'un arc entre les contacts de l'interrupteur de verrouillage; en outre, il s'avère également peu pratique de faire passer des fils de fort diamètre dans la porte. Dans ces conditions, l'interrupteur de verrouillage peut être utilisé pour ouvrir et fermer le circuit de la bobine d'un relais, et les contacts de ce relais peuvent alors fournir de l'énergie à l'équipement. Le relais peut être placé dans le tableau de distribution local auquel sont connectés les câbles d'alimentation de l'équipement; il peut aussi être monté dans une enceinte protectrice située à proximité de l'équipement. Dans l'un et l'autre cas, il est parfois pratique de connecter l'interrupteur marche-arrêt de l'équipement en série avec l'interrupteur de verrouillage. L'avantage de cette disposition réside en ce qu'il n'est plus utile d'employer un interrupteur marche-arrêt particulièrement résistant, et en ce que, de plus, le relais protecteur se trouve avoir une double utilisation.



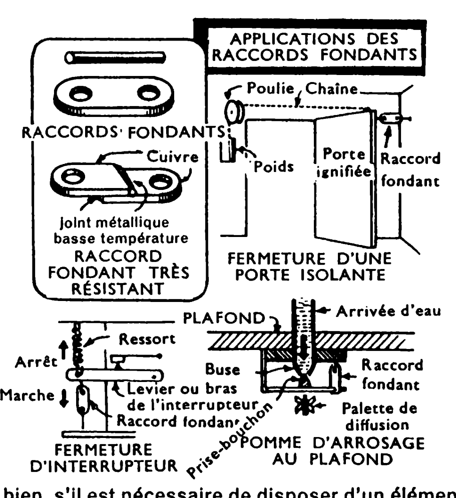
Détails d'un interrupteur de verrouillage monté dans une porte

SYSTÈMES DE LUTTE CONTRE L'INCENDIE

Le principe fondamental de la lutte contre l'incendie consiste à détecter rapidement le lieu du sinistre et à attaquer ce dernier immédiatement à l'aide d'une projection d'eau ou de tous autres matériaux adéquats à la lutte contre le feu. Quelques litres d'un matériau extincteur appliqués au bon endroit immédiatement après le commencement de l'incendie sont beaucoup plus efficaces que des milliers de litres du même matériau déversés dix minutes plus tard.

Pendant les heures de fonctionnement d'une entreprise industrielle, il est vraisemblable que le feu sera rapidement détecté. En général, des extincteurs et des lances à incendie placés dans divers endroits d'une entreprise peuvent être utilisés pour éteindre le feu avant qu'il ne puisse s'étendre. Néanmoins, les usines ne sont pas toujours entièrement occupées pendant la journée, et, dans la plupart des cas, elles sont à peu près complètement inoccupées pendant la nuit et pendant les vacances. Durant ces périodes, des systèmes automatiques de lutte contre l'incendie sont presque impératifs.

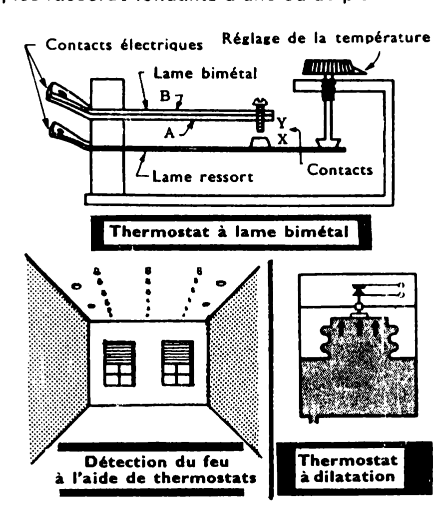
La fonction d'un système automatique de lutte contre l'incendie est de détecter le feu aussi rapidement que possible, et de projeter des matériaux extincteurs dans la zone située aux abords immédiats du feu, de déclencher un signal sonore qui doit être tel qu'il puisse être entendu de n'importe quel endroit de l'usine, et de transmettre un signal d'alarme à la caserne de pompiers la plus proche. Chacune de ces fonctions est très importante, et elles doivent toutes être accomplies aussi vite que possible.



Vous pouvez voir que, dans ces systèmes, l'élément le plus important est celui qui assure la détection du feu. Un des dispositifs les plus utilisés à cette fin est un joint métallique ou brasure, qui fond facilement lorsque la température s'élève au-delà d'un niveau donné. La composition de la brasure peut être modifiée de manière qu'elle fonde à des températures différentes pouvant aller de 80 à 190°C. Ces dispositifs peuvent être utilisés pour mettre en route des systèmes d'arrosage, pour fermer des portes isolantes ignifugées, et pour déclencher des signaux d'alarme. La technique de base est des plus simples. Le métal peut être moulé en forme d'une tige ou d'un petit raccord, ou bien, s'il est nécessaire de disposer d'un élément de plus grande résistance mécanique, il est utilisé pour braser ensemble deux pièces faites d'un métal plus résistant, par exemple du cuivre ou du laiton. Dans l'un et l'autre cas, le barreau, la tige ou le raccord est soumis à une force mécanique constante appliquée par l'intermédiaire de ressorts ou de poids. Tant qu'il est exposé à des températures ambiantes normales, il est suffisamment résistant pour compenser et équilibrer la force mécanique à laquelle il est soumis. Cependant, si un feu prend à proximité de la tige ou du raccord, le métal fond, et la force, qui n'est plus équilibrée, peut être utilisée pour actionner un dispositif conçu à cet effet. L'illustration montre comment un raccord de ce type peut être employé pour ouvrir une pomme d'arrosage suspendue au plafond, pour libérer une porte isolante, ou pour fermer un interrupteur électrique qui déclenche des signaux d'alarme. Pour éviter d'utiliser le courant des lignes d'alimentation dans les systèmes électriques de lutte contre l'incendie, il est possible d'employer un second circuit alimenté par un courant basse-tension. Les divers interrupteurs sont alors connectés à ce circuit qui excite la bobine d'un relais. Les contacts du relais peuvent alors déclencher le système d'alarme. À première vue, il peut sembler que la méthode la plus directe soit de connecter tous les interrupteurs en parallèle entre les bornes du circuit de la bobine du relais, de telle manière que la fermeture de l'un quelconque de ces interrupteurs déclenche le signal d'alarme.

Cependant, ce montage n'est pas tout à fait sûr; en effet, une défaillance de l'un des interrupteurs ou de l'un des fils de connexion se traduirait par un non fonctionnement du système, et par conséquent, par un défaut d'excitation du signal d'alarme. Une méthode plus sûre consiste à connecter tous les interrupteurs normalement fermés en série avec la bobine du relais. Ainsi, la bobine du relais est toujours excitée, et cette bobine excitée maintient ouverts les contacts du relais. Dans ce montage, la défaillance d'un des interrupteurs ou fils de connexion excitera immédiatement le signal d'alarme. L'origine du déclenchement de ce signal sera immédiatement recherchée, détectée, et une réparation assurera la remise en état du système d'alarme. Une fausse alarme due à une défaillance mécanique est, en tout état de cause, préférable à un non fonctionnement du système lorsqu'il y a vraiment un incendie.

Dans les entreprises qui ne disposent pas d'importantes installations électriques, il est parfois très coûteux de poser un grand nombre d'interrupteurs électriques destinés à la protection contre l'incendie. Dans ce cas, le fonctionnement d'une pomme d'arrosage peut être utilisé pour exciter un interrupteur central. Une unique alimentation principale en eau circule dans un réseau de canalisations secondaires qui, dans tout le bâtiment, transportent l'eau jusqu'aux pommes d'arrosage. Si un feu prend dans une partie quelconque de l'usine, les raccords fondants d'une ou de plusieurs pommes d'arrosage vont fonctionner et l'eau va s'écouler par ces ouvertures. Pour alimenter ce débit, l'eau doit se déplacer dans l'alimentation principale. Un interrupteur détecteur de débit basé sur le principe des débitmètres examinés dans la section 6 peut alors être utilisé pour exciter le circuit électrique d'alarme. De plus, un dispositif actionné par le flux d'eau peut être installé sur le trajet de la canalisation et utilisé pour actionner un jeu de marteaux rotatifs qui frapperont sur une cloche d'alarme. Ce dispositif peut se composer simplement d'un jeu de palettes placées dans le flux d'eau et actionnées par le déplacement de l'eau; en réalité, il s'agit essentiellement d'une pompe à palettes dont on a inversé le fonctionnement.



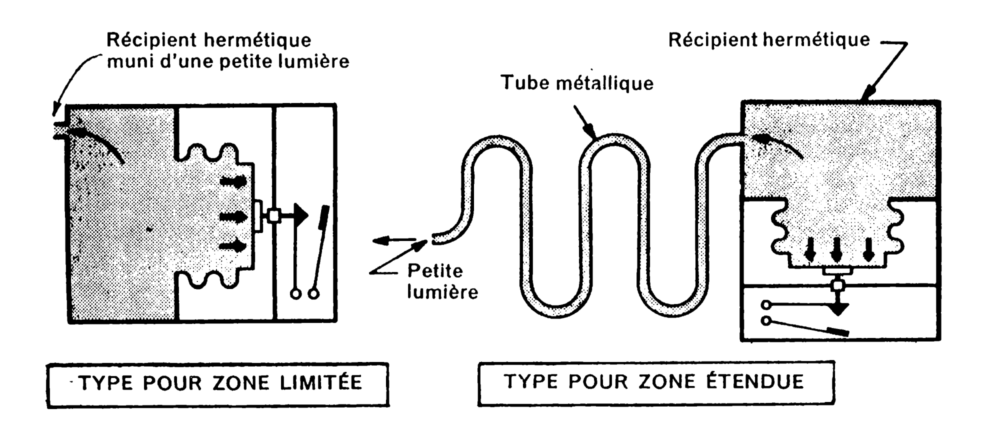
Bien que le détecteur d'incendie à raccords fondants soit encore très utilisé, il est, de plus en plus, remplacé par des détecteurs plus sensibles. L'un de ceux-ci se compose d'un thermostat classique dans lequel une lame bimétal est utilisée pour exciter le circuit électrique lorsque la température dépasse une valeur déterminée. Un autre type est basé sur le fait que l'air se dilate lorsqu'il est réchauffé; il fonctionne d'après le principe de l'interrupteur pneumatique à gaz que nous avons déjà étudié à la section 6. En bref, une chambre remplie de gaz est équipée d'un soufflet ou d'un diaphragme. La chaleur du feu dilate le gaz qui exerce alors une pression sur le soufflet ou le diaphragme dont le déplacement actionne l'interrupteur.

Ces dispositifs de commutation fonctionnent à des températures déterminées à l'avance. La température indiquée doit être suffisamment élevée pour que l'interrupteur ne soit pas actionné du seul fait des fortes températures de l'été ou encore de celles résultant de certains processus industriels. Il en résulte que, dans des conditions de basse température, un feu peut avoir à prendre une certaine extension avant que la température aux abords du détecteur devienne suffisamment importante pour actionner l'interrupteur.

Le dispositif basé sur le principe de la dilatation des gaz peut être modifié de manière à n'actionner l'interrupteur qu'à la suite d'une rapide élévation de température se produisant à sa proximité. Ainsi, le signal d'alarme sera excité à une température beaucoup plus faible que celle du dispositif précédent, et il ne pourra être déclenché par les fortes températures de l'été ou de certains processus industriels. Le fonctionnement de ce dispositif est illustré par la figure suivante. C'est un interrupteur classique, à pression, du type à gaz, équipé d'un soufflet ou d'un diaphragme servant à actionner l'interrupteur. La différence principale réside d'une part dans le fait que la chambre contient de l'air, et, d'autre part, en la présence d'une petite lumière dans la paroi de la chambre. Lorsque la température ambiante s'élève lentement (par exemple, du fait de changements de temps, du fonctionnement du système de chauffage, et de processus industriels) l'air de la chambre se dilate lentement. Dans ces conditions, l'air qui se trouve dans la chambre s'échappe lentement en passant par la petite lumière disposée à cet effet, et la pression à l'intérieur de la chambre est seulement un peu plus élevée que la pression atmosphérique. Cependant, si la température ambiante s'élève rapidement, l'air qui se dilate à l'intérieur de la chambre ne peut s'échapper assez rapidement par la petite lumière. En conséquence, la pression interne s'élève rapidement et actionne le mécanisme d'interruption.

L'un des principaux inconvénients de ces dispositifs réside dans le fait qu'un grand nombre d'unités doivent être employées pour surveiller une zone importante. S'il est possible d'étendre la zone d'efficacité de chacun de ces dispositifs, le nombre d'interrupteurs, et donc le coût de l'installation peuvent être considérablement réduits. Plusieurs méthodes permettent d'obtenir ce résultat.

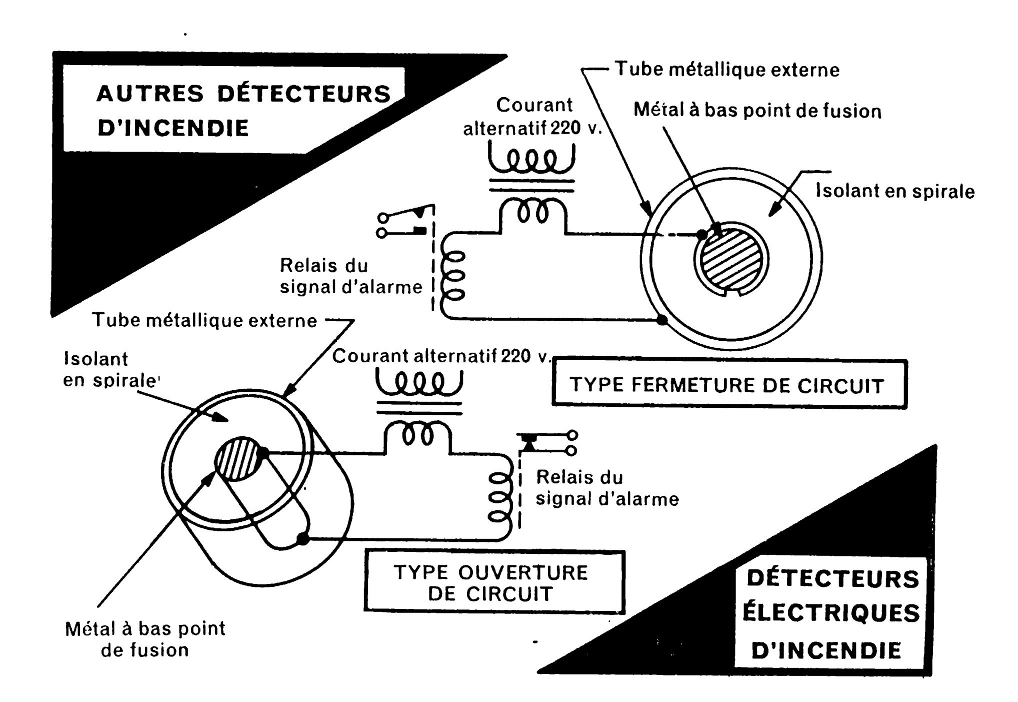




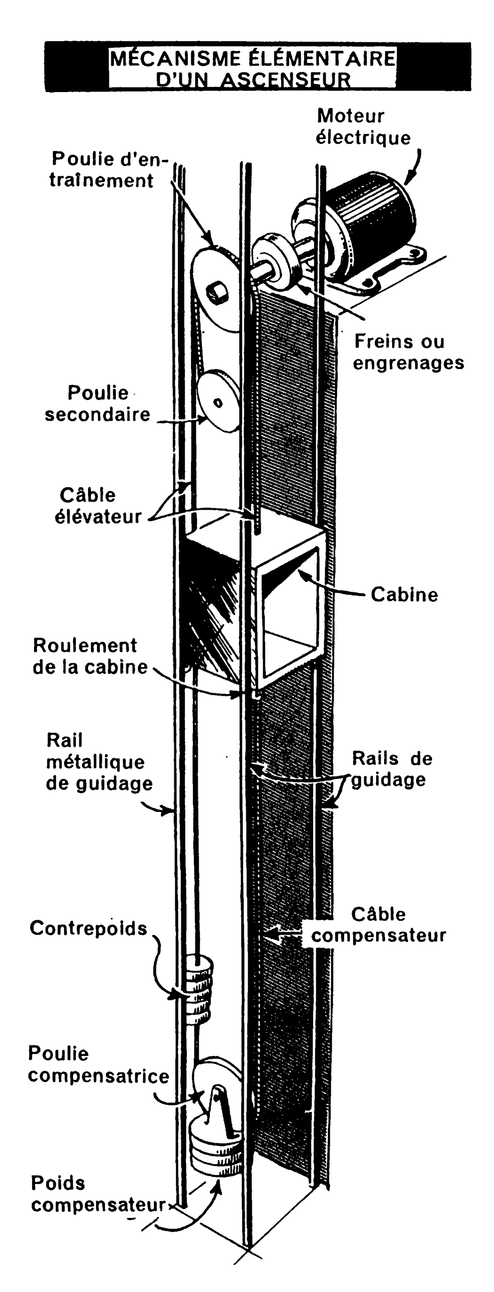
Le système d'interruption à air peut être modifié de manière que la zone surveillée par chaque interrupteur soit considérablement agrandie. À cet effet, une grande longueur de tube métallique est raccordée à la chambre, et ce tube est installé sur un parcours situé au plafond de la zone à protéger. Si un feu prend à n'importe quel endroit en-dessous du tube, l'air qui se trouve dans ce dernier va se dilater augmentant ainsi la pression dans cette partie du tube; cette augmentation de pression va être transmise au diaphragme ou au soufflet situé à l'extrémité du tube. Si l'on désire que ce dispositif soit seulement sensible aux élévations brusques de température, l'extrémité du tube la plus éloignée de l'interrupteur peut être percée d'une petite lumière ou munie d'une soupape à aiguille.

Une autre méthode consiste en une application du métal à bas point de fusion que nous avons examiné précédemment. Un fil fait de ce métal est inclus dans un mince tube métallique ajouré qui est séparé d'un tube métallique extérieur par un isolant en forme de spirale. Une grande longueur de tube est installée au plafond de la zone à surveiller. Si un feu prend en-dessous du tube, il va faire fondre le métal à bas point de fusion qui se trouve dans le tube situé au-dessus. Le métal fondu va s'écouler par les fentes du tube métallique interne, passer entre les spires formées par le matériau isolant, et établir un contact entre le tube intérieur et le tube extérieur. Ce contact ferme le circuit électrique entre les deux tubes et excite un signal d'alarme.

S'il s'avère souhaitable de disposer d'un montage qui ouvre un circuit normalement fermé, il suffit de procéder à une petite modification. Le tube ajouré interne est supprimé, et les deux extrémités du fil conducteur interne sont connectées aux bornes du système d'alarme, complétant ainsi le circuit normalement fermé. Si un incendie se déclenche en-dessous du tube métallique, le fil conducteur interne va fondre. Le métal fondu va s'écouler dans l'espace qui sépare les spires de matériau isolant, et le matériau isolant va rompre le parcours électrique continu.



SYSTÈMES DE COMMANDE DES ASCENSEURS



Vous connaissez bien les ascenseurs, et vous savez qu'on peut les faire monter, descendre, et les arrêter à l'aide de la manette du liftier ou d'un jeu de boutons-poussoirs utilisés par le liftier ou par les passagers eux-mêmes. De nos jours, la plupart des immeubles neufs, des hôtels, des grands magasins, des écoles et des entreprises industrielles sont équipés d'ascenseurs. Ils servent à transporter des passagers ou des marchandises à partir de n'importe quel étage d'un immeuble jusqu'à n'importe quel autre étage; en fait, ils sont indispensables à l'utilisation rationnelle d'un immeuble ou d'un bâtiment industriel.

Avant d'envisager les systèmes électriques de commande des ascenseurs, il est à la fois intéressant et important de s'attacher à une rapide révision des principaux aspects mécaniques des ascenseurs. Un ascenseur est une cabine que l'on fait monter ou descendre au moyen de câbles et de poulies. La cabine se déplace dans un puits vertical muni de rails de guidage. Des roulements montés sur amortisseurs sont fixés aux parois externes de la cabine; ces roulements guident la cabine entre les rails. Les rails sont destinés à empêcher le balancement de la cabine à l'intérieur du puits ainsi qu'à fournir une surface disponible sur laquelle les freins de secours disposés sur la cabine puissent s'agripper en cas de défaillance des moyens normaux de maintien et d'arrêt de la cabine.

Le schéma représente un montage qui figure parmi les plus utilisés : il s'agit d'un système de poulies et de câbles métalliques dont le fonctionnement fait monter et descendre la cabine. Ce système est connu sous le nom de « système tracteur » car la force d'entraînement du moteur électrique est transmise par le frottement qui se produit entre la poulie d'entraînement à gorge et le câble élévateur. La poulie secondaire est un moyen pratique d'obtenir un double passage du câble sur la poulie d'entraînement; de ce fait, le frottement d'entraînement est doublé. La présence du contrepoids s'explique principalement par le désir d'alléger la charge que le moteur doit faire monter et descendre.

Si le contrepoids était exactement égal au poids de la cabine et de sa charge intérieure, la seule force qui serait demandée au moteur serait celle nécessaire pour vaincre les frottements des câbles sur les poulies ainsi que celles résultant du frottement des roulements de la cabine contre les rails de guidage. Cependant, du fait que la charge de la cabine varie considérablement pendant les déplacements, il est peu pratique d'effectuer un ajustement continuel du contrepoids. L'expérience a montré que la plus grande efficacité est obtenue lorsque le contrepoids est égal à la somme du poids de la cabine et de 40% de la charge maximale normale. Ainsi, la charge maximale que supporte le moteur est égale à 60% de la charge maximale normale.

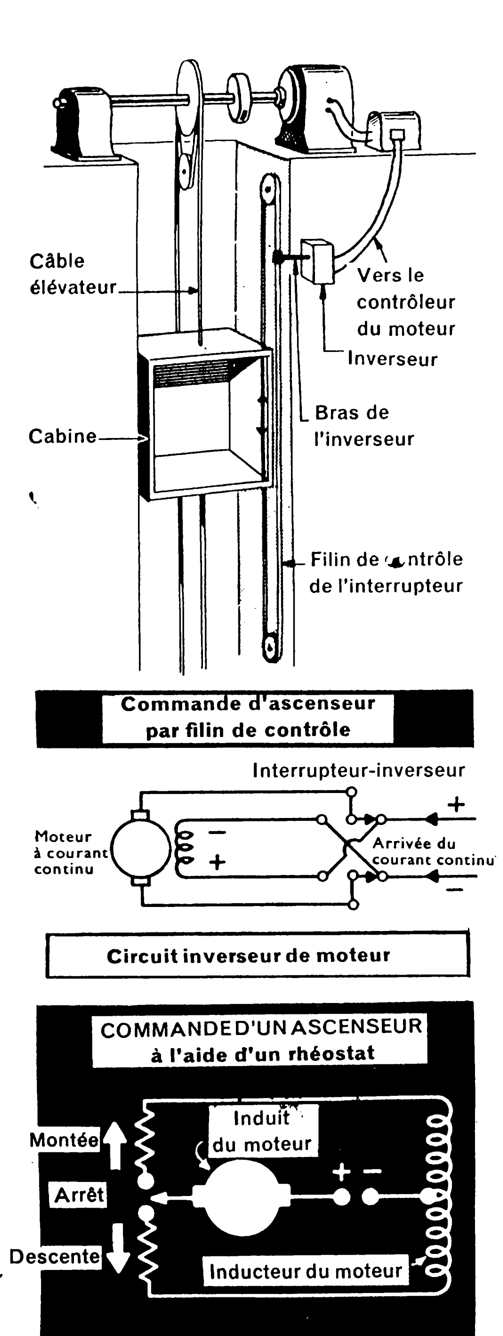
Le câble compensateur, la poulie et le poids compensateur constituent les autres composants mécaniques que nous devons envisager. Cette poulie et ce poids sont destinés à égaliser le poids du câble des deux côtés de la poulie d'entraînement. Du fait que le poids du câble est important, et ceci tout particulièrement dans les immeubles élevés, il y aurait une différence indésirable entre les poids du côté de la cabine et du contrepoids, chaque fois que l'ascenseur monte ou descend. Du fait de la poulie et du câble compensateur, il y a toujours un même poids de câble de part et d'autre de la poulie d'entraînement. Le but du poids compensateur est d'assurer qu'il y a toujours une tension verticale identique qui s'exerce à la fois sur la cabine et sur le contrepoids, qui absorbe le « jeu » du câble de traction et empêche les « sauts » de la cabine ou du contrepoids lors d'un freinage rapide normal.

Dans les ascenseurs à moyenne et grande vitesse, l'axe du moteur électrique est directement relié à la poulie d'entraînement. Cet axe comporte également un tambour de frein équipé de freins électromagnétiques à courant alternatif ou continu. Des montages de ce type sont employés pour des ascenseurs dont la vitesse va de 100 à 500 mètres à la minute.

Les ascenseurs à vitesse lente sont ceux qui fonctionnent à des vitesses inférieures à 100 mètres à la minute. Dans les ascenseurs de ce type, la connexion du moteur et de la poulie d'entraînement se fait généralement par l'intermédiaire d'un jeu d'engrenages.

Dans les ascenseurs à moyenne et grande vitesse comportant des systèmes d'entraînement sans engrenages, le moteur est un moteur à courant continu à inducteur compound ou seulement à inducteur shunt. Ces moteurs ont une puissance nominale de l'ordre de 15 à 200 chevaux-vapeur, et ils fonctionnent normalement à des vitesses allant de 50 à 150 tours à la minute. Les moteurs à courant continu sont également utilisés pour les systèmes d'entraînement à engrenages, et dans ce cas, leur puissance nominale varie entre 2 et 40 CV pour des vitesses de fonctionnement comprises entre 1 300 et 500 tours à la minute.

Les moteurs à courant alternatif sont également utilisés pour actionner les ascenseurs, mais leur emploi est limité aux systèmes à engrenages. La plupart de ces moteurs sont du type « moteur d'induction », et le type cage d'écureuil est le plus fréquemment employé. Les moteurs à cage d'écureuil employés pour le fonctionnement des ascenseurs sont généralement du type à une vitesse. Cependant, lorsque la vitesse de la cabine dépasse trente mètres à la minute, on utilise souvent un moteur à deux vitesses comportant un stator à deux enroulements distincts permettant d'obtenir des accroissements de vitesse de 1 à 2 ou de 1 à 3. Les puissances nominales de ces moteurs sont à peu près du même ordre que celles des moteurs à courant continu utilisés dans les systèmes à engrenages; les vitesses synchrones de ces moteurs à cage d'écureuil sont généralement de 600, 900, 1 200 et 1 800 tours à la minute.



Autrefois, les ascenseurs fonctionnaient à de très faibles vitesses, et leur commande était généralement assurée par un filin qui parcourait toute la longueur du puits et qui traversait la cabine elle-même. Une extrémité de ce filin était reliée à l'interrupteur de commande du moteur qui était actionné de l'intérieur de la cabine, par une simple traction exercée sur le filin.

Dans le système de commande le plus simple, un interrupteur à trois voies est connecté comme l'indique le schéma. Lorsque l'interrupteur est en position centrale, aucun courant ne parvient au moteur, et la cabine demeure immobile. Une traction exercée sur le filin qui traverse la cabine met le bras de l'interrupteur sur sa position supérieure, et le moteur tourne dans le sens qui fait monter la cabine. Pour arrêter la cabine, une légère poussée vers le haut exercée sur le filin ramène le bras de l'interrupteur sur sa position centrale. Ceci a pour effet de couper la tension qui était appliquée au moteur et d'exciter un frein a friction. Du fait que l'axe du moteur effectue un grand nombre de tours pour une petite variation du niveau de la cabine, celle-ci s'arrête presque instantanément lorsqu'une traction est exercée sur le filin. De la même manière, pour faire descendre la cabine, il suffit de soulever légèrement le filin, et ensuite, pour arrêter la cabine, d'exercer une légère traction vers le bas sur ce filin.

Ce système de commande est encore utilisé pour les monte-charge et dans les vieux bâtiments industriels. Cependant, au fur et à mesure de l'accroissement de la vitesse des ascenseurs, il devient de plus en plus difficile d'arrêter la cabine au niveau voulu.

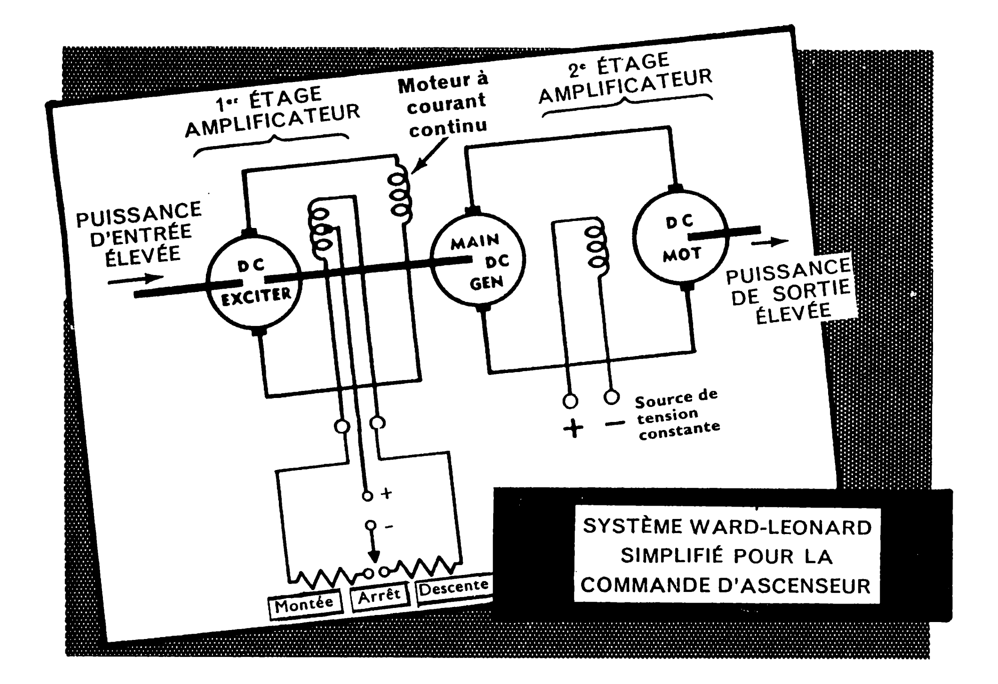
La commande par rhéostat représente une amélioration du système précédent. Cette méthode est encore utilisée dans les bâtiments industriels anciens ou de petites dimensions, mais elle est pratiquement abandonnée dans les nouveaux immeubles à plus de 10 étages. Cette méthode procure un contrôle de la vitesse qui se révèle particulièrement pratique en ce qu'il permet de ralentir la cabine lorsqu'elle se rapproche de l'étage auquel on désire s'arrêter, et qu'il assure ensuite l'arrêt complet de la cabine.

Dans le volume 5 de l'ÉLECTRICITÉ du programme COMMON-CORE, vous avez pu apprendre les principales méthodes d'utilisation des rhéostats pour le contrôle de la vitesse de rotation des moteurs électriques; de plus, ces méthodes ont été revues dans la section 4 de ce cours. Dans la commande par rhéostat des moteurs à courant continu pour ascenseurs, une résistance variable peut être connectée en série et parfois en parallèle avec l'induit du moteur. Le contrôle de la vitesse peut également être effectué au moyen de rhéostats connectés aux bobinages d'excitation. Dans les montages de contrôle par bobinage d'excitation, ces bobinages sont montés de manière à former un moteur compound; les deux bobinages sont utilisés pour le démarrage, et l'inducteur série est graduellement court-circuité pendant que le moteur se rapproche de sa vitesse de fonctionnement. Dans tous ces montages de commande de la vitesse, il s'avère souvent plus pratique d'utiliser un certain nombre de résistances fixes montées en série et de les court-circuiter successivement au moyen d'un commutateur.

La commande par rhéostat peut aussi être employée avec les moteurs à courant alternatif à cage d'écureuil que l'on utilise pour les ascenseurs. Dans ce montage, un rhéostat peut être monté en série avec le bobinage du stator; cependant, la pratique courante veut que l'on utilise plusieurs résistances fixes qui sont court-circuitées en séquence au moyen d'un commutateur. Lorsqu'il s'agit de moteurs cage d'écureuil à deux vitesses, l'emploi du système de contrôle de la vitesse est généralement limité à la basse vitesse qui est celle que l'on utilise pour l'arrêt de la cabine à l'étage voulu.

Bien que la plus simple méthode de contrôle serait de placer le rhéostat ou le commutateur dans la cabine, ce procédé exigerait des câbles ou des rails d'alimentation pouvant supporter une forte intensité. Ces câbles ou ces rails devraient parcourir toute la longueur du trajet de la cabine. Cette méthode ne serait pas seulement coûteuse et potentiellement dangereuse pour les occupants de la cabine; mais elle exigerait, en outre, un important entretien destiné à corriger les phénomènes d'arc qui ne manqueraient pas de se produire. Une méthode plus économique et plus sûre consiste à doter la cabine d'un commutateur servant à conduire un courant suffisant pour exciter des relais placés à proximité du moteur. Ces relais peuvent alors être utilisés pour ouvrir, fermer et inverser les connexions du moteur ainsi que pour court-circuiter les résistances de contrôle de la vitesse.

Lorsque l'ascenseur est équipé d'une commande à rhéostat, il faut un liftier qualifié. En effet, une certaine habileté est nécessaire pour ralentir la cabine en douceur et pour l'arrêter lorsque son plancher est au même niveau que le plancher de l'étage. À cet effet, le liftier doit commencer à ralentir la cabine avant qu'elle ne soit trop près de l'étage désiré. Pour cette opération, il est guidé par des numéros indiquant les étages et portés sur la paroi interne du puits dans lequel la cabine se déplace; à partir de la vitesse et de la charge de la cabine, il doit évaluer le moment à partir duquel il doit commencer à la ralentir. Si une cabine s'arrête légèrement en-dessus ou en-dessous du niveau du plancher de l'étage, une ou deux corrections doivent permettre à un liftier expérimenté d'arriver à un ajustement pratiquement parfait des deux niveaux. Du fait que les conditions du contrôle changent avec la charge, avec la direction du déplacement, et avec la vitesse maximale atteinte dans les déplacements entre étages rapprochés, le liftier doit être très expérimenté.



Le contrôle de la tension d'alimentation du moteur fournit un moyen de commande de l'ascenseur, à la fois plus pratique et plus précis. Un autre avantage réside en ce qu'il permet l'utilisation du courant alternatif pour le fonctionnement des ascenseurs à entraînement direct. Le principe de cette technique consiste à utiliser un moteur à courant alternatif à haute efficacité, par exemple un moteur à cage d'écureuil. Ce moteur actionne une génératrice à courant continu qui, à son tour, entraîne un moteur shunt à courant continu lequel agit directement sur la cabine de l'ascenseur. Lorsque l'on dispose d'une source de courant continu, la génératrice est entraînée par un moteur compound à courant continu. Ce système est une version simplifiée du système Ward-Léonard qui a été exposé à la section 5.

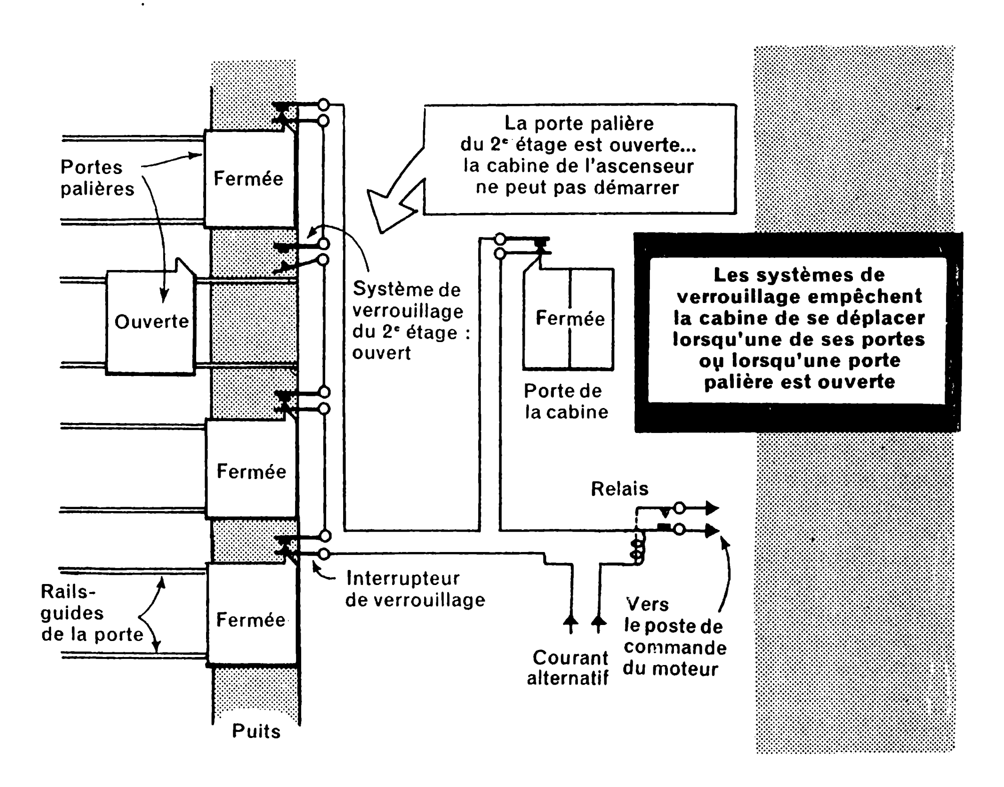
Dans ce système, la combinaison moteur-génératrice tourne à une vitesse constante. En réglant le courant qui traverse le bobinage d'excitation de la génératrice, la tension appliquée au moteur d'entraînement de l'ascenseur peut être réglée avec précision. Ainsi, pour faire démarrer le moteur d'entraînement, on accroît régulièrement le courant d'excitation de la génératrice. Pour l'arrêter, on effectue l'opération inverse qui consiste à diminuer régulièrement le courant d'excitation de la génératrice. Du fait des interactions magnétiques, un réglage brutal du courant d'excitation se traduit par des variations lentes et proportionnelles de la tension fournie au moteur d'entraînement. Ainsi, le moteur de l'ascenseur est toujours soumis à un contrôle à la fois efficace et sans à-coups, et cela quelle que soit son allure : de zéro à sa vitesse maximale. Les caractéristiques de contrôle ne sont pratiquement pas modifiées lors des variations de charge de la cabine.

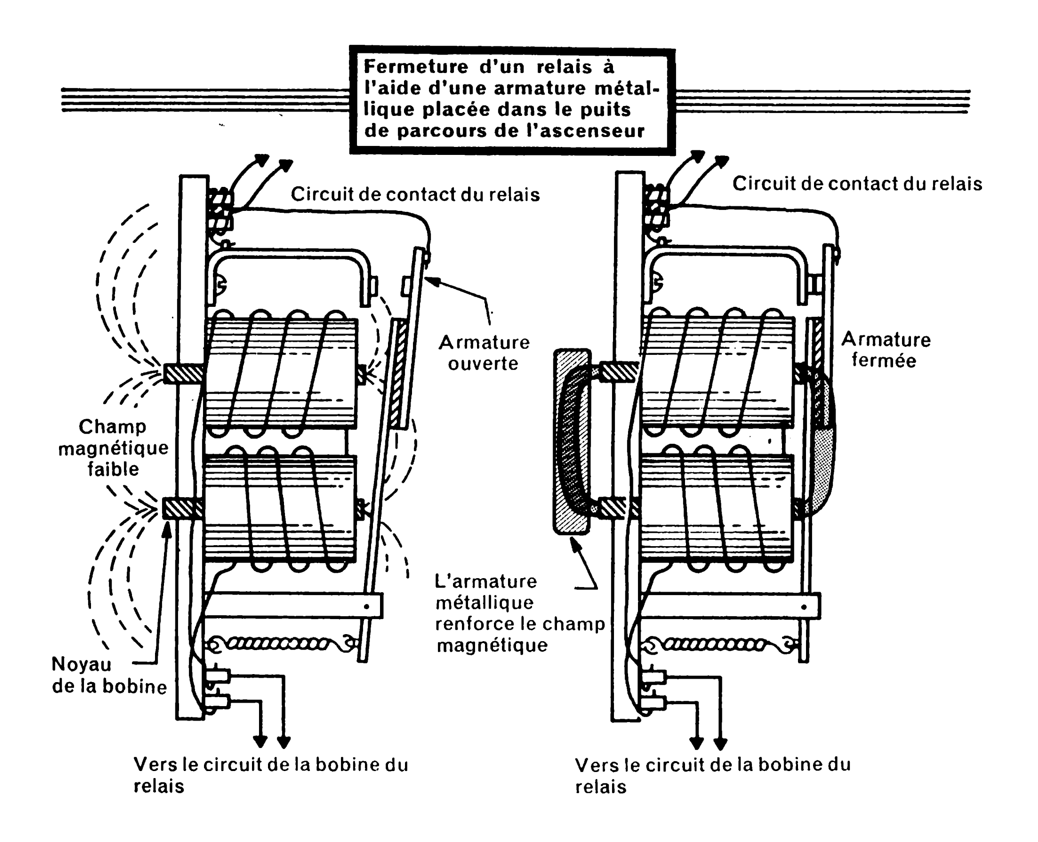
Le courant continu exigé par l'inducteur de la génératrice peut être fourni par la génératrice elle-même. Néanmoins, pour supprimer les caractéristiques variables du fonctionnement des génératrices à auto-excitation, le courant inducteur est fourni par une génératrice distincte. Cette génératrice est parfois actionnée par l'axe de la génératrice du moteur, et, dans les grandes installations, le courant d'excitation est fourni par un groupe convertisseur.

La méthode la plus simple permettant de commander un ascenseur de ce type consiste à appliquer le système de contrôle de la cabine qui a été exposé lors de l'explication de la commande par rhéostat. La principale différence réside en ce que, dans le cas présent, la commande de la cabine agit sur le courant d'excitation de la génératrice et non plus sur le courant du moteur. Les caractéristiques de fonctionnement qui résultent des techniques de contrôle de la tension sont tellement régulières et uniformes, que ce système convient particulièrement au fonctionnement des ascenseurs à moyenne et grande vitesse. Lorsque l'on souhaite disposer d'un contrôle encore plus précis de la vitesse et d'un système élaboré de boutons-poussoirs automatiques, il est alors très simple de transformer ce système de contrôle de la tension en un système Ward-Léonard semblable à celui qui a été décrit à la section 5.

Les systèmes de commande utilisés pour faire fonctionner un ascenseur entièrement automatique à l'aide de boutons-poussoirs sont tellement variés et complexes que leur étude complète nécessiterait sans aucun doute un ouvrage important. Ici, on se limitera à l'énoncé des principes fondamentaux.

Tous les ascenseurs modernes sont équipés de systèmes de verrouillage dont une description a déjà été donnée; ces systèmes empêchent la cabine de se déplacer lorsqu'une des portes de la cabine ou de l'un des paliers n'est pas complètement fermée ou verrouillée. Puisque l'arrêt de la cabine se traduit immédiatement par une action de tous les systèmes de blocage, une protection est ainsi assurée à l'égard des personnes ou des objets qui tomberaient dans le puits de parcours de la cabine. Les occupants ou les objets qui se trouvent dans la cabine sont également protégés contre les divers types de dommages qui pourraient résulter du déplacement d'une cabine dont la porte est ouverte.

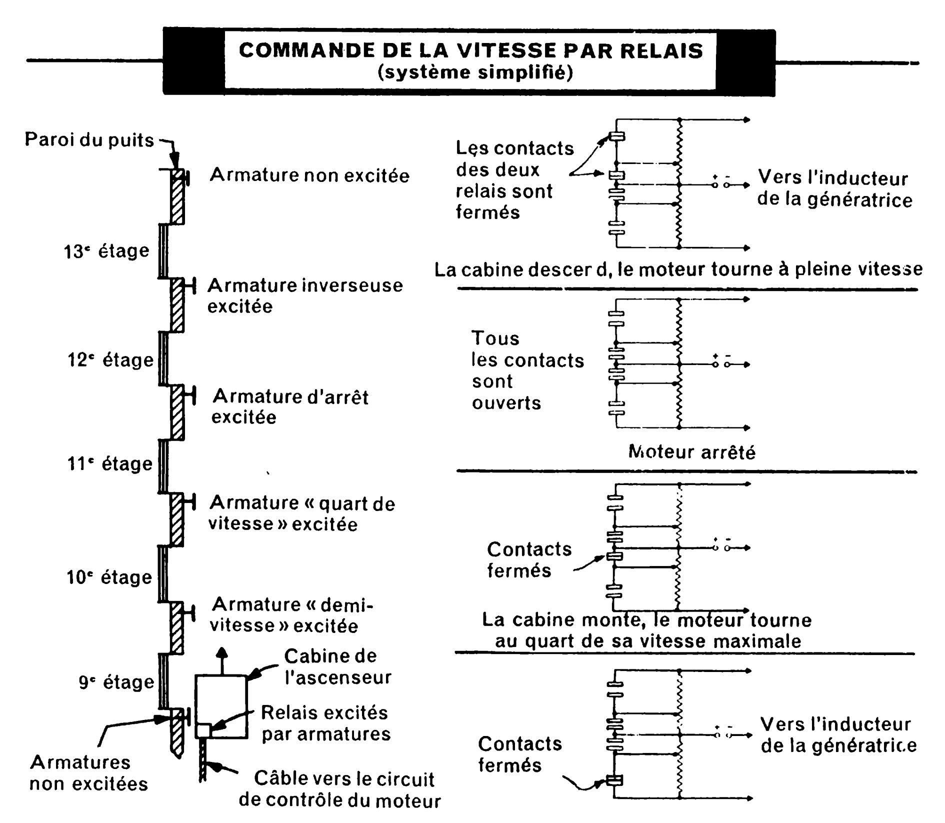




Les systèmes de commande automatique à boutons-poussoirs fonctionnent souvent à l'aide d'interrupteurs placés dans la cabine et qui sont actionnés par des organes de commutation mécaniques situés sur les parois du puits. Pour éviter les contacts mécaniques, l'interrupteur de la cabine peut être remplacé par un relais qui est insuffisamment excité pour fermer ses contacts. Lorsque le relais passe devant une bande ou armature métallique, ou encore devant une bobine excitée située sur la paroi du puits de l'ascenseur, il en résulte un accroissement de la force du champ magnétique suffisant pour provoquer la fermeture des contacts du relais. Dans l'un et l'autre cas, un circuit électrique, qui se trouve dans la cabine, est alors fermé et, lorsque la cabine atteint une certaine position, il y a excitation d'un relais correspondant situé dans le circuit de contrôle du moteur. Ainsi, la vitesse de la cabine est déterminée par sa position dans le puits, et non par l'habileté de l'opérateur.

Supposons, par exemple, que la cabine soit arrêtée au rez-de-chaussée d'un immeuble. Une personne pénètre dans la cabine et enfonce le bouton marqué « 12 ». Après une période d'attente de l'ordre de quelques secondes, et destinée à laisser d'autres personnes monter dans la cabine, les portes se ferment. Le fait d'enfoncer le bouton « 12 » situé dans la cabine, excite des bobines ou des solénoïdes placés dans le puits à proximité du douzième étage. Les solénoïdes amènent alors les bandes ou armatures métalliques sur la paroi du puits, à proximité de cet étage.

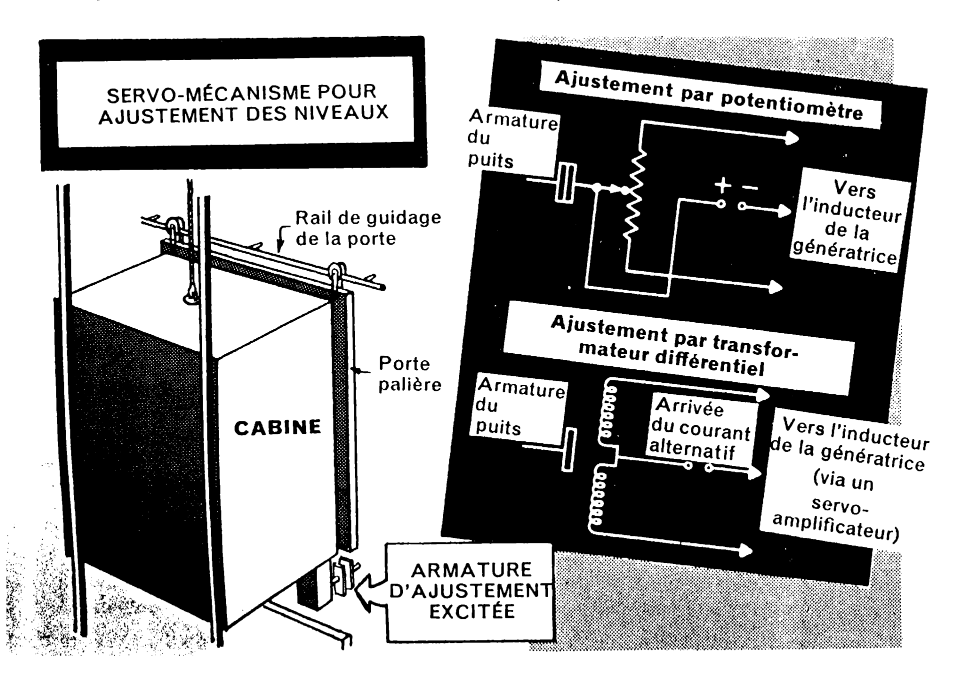
Lorsque les portes de la cabine se ferment, le moteur commence à faire monter la cabine. Cependant, en se rapprochant du dizième étage, elle passe devant la première des armatures métalliques placées sur la paroi du puits, et dont l'excitation résulte de l'enfoncement du bouton « 12 ». Ce passage se traduit par l'excitation d'un relais du groupe convertisseur; le courant d'excitation de la génératrice est réduit de moitié, et le moteur de l'ascenseur commence à ralentir. Lorsque la cabine, qui continue à monter, se rapproche du onzième étage, elle atteint la deuxième armature excitée de la paroi du puits. Le passage de la cabine devant cette armature excite un second relais au niveau du groupe convertisseur; le courant d'excitation de la génératrice est réduit au quart de sa valeur initiale, et le moteur de l'ascenseur ralentit encore un peu plus. Selon la conception du système, la cabine peut passer devant une ou plusieurs armatures excitées, de telle manière que sa vitesse soit fortement réduite lorsque son plancher approche de celui de l'étage auquel elle doit s'arrêter, ici le douzième étage. Lorsque les deux planchers sont en correspondance exacte, une armature supplémentaire excite un relais qui annule le courant d'excitation de la génératrice. Le moteur de l'ascenseur est alors arrêté, et le frein est excité. Si la cabine dépasse légèrement le palier, elle passe devant une autre armature métallique qui excite un ou plusieurs relais qui inversent le sens de rotation du moteur d'entraînement. Le moteur tourne alors à très basse vitesse, et il fait descendre la cabine jusqu'à ce que son plancher soit au même niveau que celui de l'étage; à cet instant, le frein est excité.



Un procédé plus élaboré d'ajustement des niveaux respectifs de la cabine et du plancher de l'étage comporte un système de servo-commande. Une technique possible consiste, pour le dispositif d'arrêt final, à « accrocher » le curseur d'un potentiomètre rectiligne. Ensuite, le système de commande Ward-Léonard fonctionnera comme un servo-mécanisme qui mettra en place la cabine jusqu'à ce que le curseur du potentiomètre soit au centre de son trajet. À ce point, le plancher de la cabine sera au même niveau que celui de l'étage. Pour obtenir une telle précision d'ajustement de niveau, il n'est pas nécessaire d'utiliser un potentiomètre. Pour éviter un contact mécanique, on peut faire usage d'un barreau ou d'une armature métallique placé sur la paroi du puits et agissant sur une paire de bobines placées en saillie sur la paroi latérale de la cabine. Ce montage est essentiellement celui d'un transformateur différentiel et le servo-mécanisme déplacera la cabine jusqu'à ce que la tension entre les bornes des deux bobines soit identique. À ce moment, les deux planchers seront exactement vis-à-vis.

Lorsque les deux planchers sont rigoureusement au même niveau, les portes s'ouvrent et les occupants peuvent sortir. La cabine reste alors au même endroit jusqu'à ce que quelqu'un, appuyant sur un bouton correspondant à un autre palier, excite ainsi les dispositifs de contrôle de cet étage. Lorsque les portes de la cabine se referment, les dispositifs de contrôle situés au douzième étage du puits sont désexcités. Le processus est répété, et la cabine recommence un nouveau trajet.

Les organes de commande de la cabine qui ont été décrits jusqu'à présent représentent seulement une faible partie des possibilités. Lorsqu'un immeuble comporte plusieurs ascenseurs automatiques, le système de commande est souvent conçu de manière que, lorsqu'une personne appuie sur le bouton « montée » ou « descente » d'un palier, c'est la plus proche des diverses cabines qui voyagent dans la bonne direction, qui s'arrête pour répondre à cet appel. Certains de ces systèmes sont conçus de telle manière qu'un service maximum soit assuré aux étages qui correspondent aux demandes les plus nombreuses, et que, aux étages pour lesquels le nombre de demandes est particulièrement réduit, le nombre d'arrêts soit diminué ou pratiquement nul. Les appareils de contrôle de ces systèmes constituent en eux-mêmes un domaine particulier.



SYSTÈMES DE CONTRÔLE UTILISÉS DANS L'IMPRIMERIE

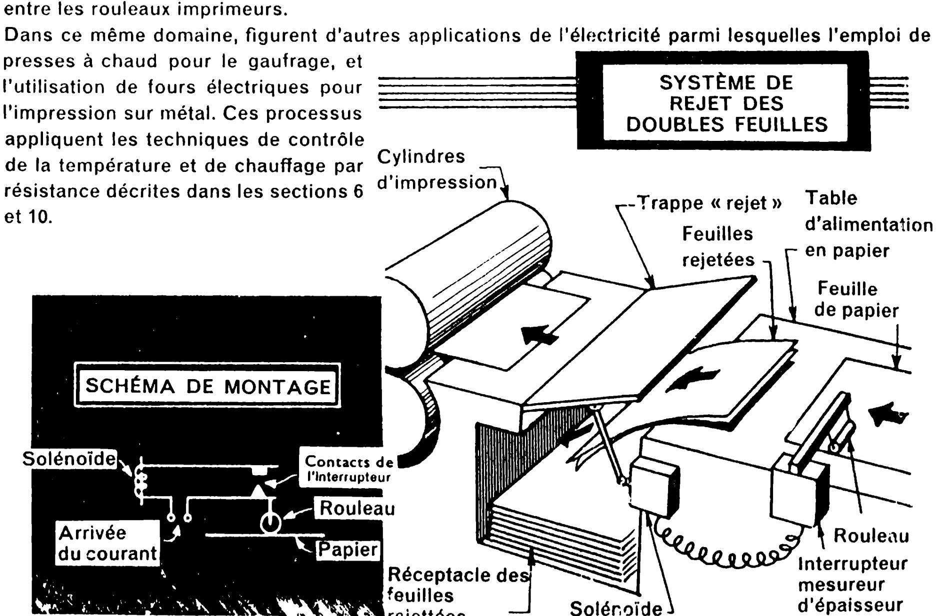
Si ce sujet figure dans cet ouvrage, ce n'est pas parce qu'il est inhabituel ou complexe, mais parce que l'imprimerie est une industrie importante.

La principale application de l'électricité dans l'industrie de l'imprimerie se traduit par l'utilisation de systèmes d'entraînement par moteurs électriques, par la commande de circuits de démarrage et de contrôleurs de vitesse. La plupart des petites presses à imprimer sont équipées de moteurs monophasés à démarrage par condensateur ou de moteurs à cage d'écureuil; les moteurs fonctionnent généralement à vitesse constante. Au fur et à mesure de l'accroissement des dimensions des presses à imprimer, la nécessité d'une commande électrique des moteurs devient plus évidente. Tous les systèmes de contrôle des moteurs électriques qui ont été exposés à la section 4 sont utilisés dans les presses d'imprimerie.

De nombreuses presses comportent aussi un grand nombre de dispositifs supplémentaires destinés à couper, encrer, guider, verrouiller, saisir, aligner et séparer. Alors que sur les anciennes presses, toutes ces tâches sont accomplies par des dispositifs entièrement mécaniques, les presses modernes utilisent des dispositifs tels que des solénoïdes, des embrayages magnétiques et des petits moteurs pour l'accomplissement de ces mêmes travaux.

De nombreuses petites presses impriment les textes sur des feuilles de papier coupées à l'avance, et non sur une feuille continue de papier qui est déroulée au fur et à mesure de l'impression. Lorsqu'une presse utilise des rames de papier, il est important d'éviter qu'elle ne soit alimentée par un ensemble de deux ou plusieurs feuilles « collées » ensemble par suite d'une trop grande compression lors de l'empaquetage de la rame. Lorsque deux feuilles ou plus sont introduites dans la machine, seule la feuille supérieure est imprimée, et les autres feuilles reliées à la première demeurent vierges, donnant ainsi l'impression d'une fabrication peu soignée. Pour pallier cet inconvénient, les presses modernes alimentées en feuilles sont munies d'un interrupteur sensible dont le rôle est semblable à celui d'un système de mesure de l'épaisseur. Lorsqu'une feuille passe sous l'interrupteur, les contacts de l'interrupteur ne se ferment pas; en revanche, lorsque deux ou plusieurs feuilles passent sous l'interrupteur, l'accroissement de l'épaisseur est suffisant pour fermer les contacts. Cette fermeture excite un solénoïde, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un relais. Une trappe « rejet » s'excite et s'ouvre pour « capter » les feuilles collées avant qu'elles ne passent entre les rouleaux imprimeurs.

Dans ce même domaine, figurent d'autres applications de l'électricité parmi lesquelles l'emploi de presses à chaud pour le gaufrage, et l'utilisation de fours électriques pour l'impression sur métal. Ces processus appliquent les techniques de contrôle de la température et de chauffage par résistance décrites dans les sections 6 et 10.



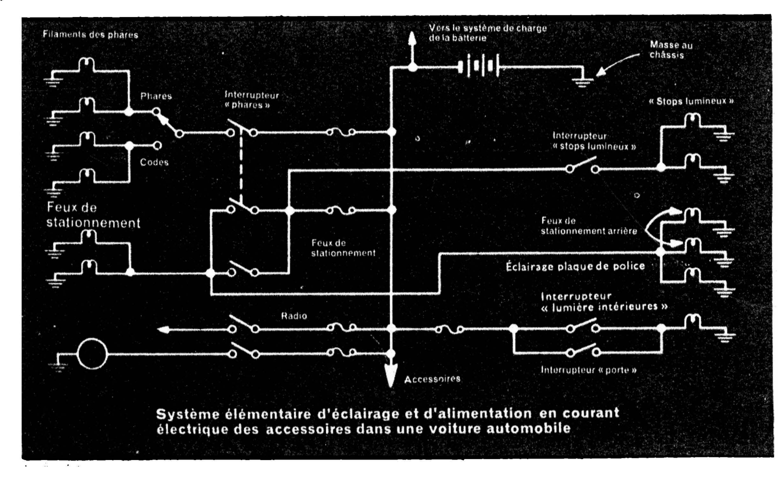
SYSTÈMES DE CONTRÔLE DES VÉHICULES AUTOMOBILES

Les automobiles de tourisme et les camions disposent de systèmes électriques de contrôle dont les principes de fonctionnement sont des plus simples. Dans ces véhicules, l'énergie électrique est fournie par des accumulateurs de 6, 12 ou 24 volts et par une génératrice à courant continu qui produit une tension identique à celle de l'accumulateur. Le circuit électrique se compose de trois systèmes principaux : l'éclairage et les accessoires, le système de charge de la batterie et l'allumage.

Le principe de l'éclairage d'un véhicule automobile est extrêmement simple. Le tableau de bord ou la cabine du véhicule sont munis d'un certain nombre d'interrupteurs dont le rôle consiste à transmettre le courant du système accumulateur-génératrice aux diverses ampoules. En actionnant les interrupteurs adéquats pour les mettre en position marche ou en position arrêt, le conducteur peut commander les feux de stationnement, les phares, les phares anti-brouillard, les lumières du tableau de bord, les clignotants et l'éclairage intérieur de la voiture. D'autres lumières sont commandées par d'autres mécanismes du véhicule. Par exemple, l'ouverture d'une porte relâche normalement un interrupteur à bouton-poussoir qui, lorsque la porte est fermée, est comprimé et constitue un circuit ouvert; l'ouverture de la porte provoque la fermeture de l'interrupteur et, par voie de conséquence, l'arrivée du courant aux lumières intérieures de la voiture. Un autre exemple : lorsque le conducteur appuie sur la pédale de frein, un interrupteur sensible à la pression se ferme et le courant est envoyé à un filament spécial situé dans l'ampoule de chacun des feux de position arrière. Les accessoires (radio, ventilateur de dégivrage, conditionneur d'air, etc.) sont également actionnés au moyen de simples interrupteurs marche-arrêt.

Du fait qu'il comporte un régulateur automatique destiné à prévenir tout dommage, le système de chargement de la batterie est plus complexe. La batterie fournit de l'électricité au véhicule lorsque le moteur ne tourne pas et entraîne le moteur à courant continu qui, pendant le démarrage, fait tourner le vilebrequin du moteur à essence. Lorsque le moteur à essence est en marche, son vilebrequin fait tourner la génératrice qui fournit alors du courant continu au circuit électrique et à la batterie.

Le schéma suivant représente un circuit typique de chargement de la batterie. Le démarrage du moteur à essence se produit lorsque le conducteur actionne l'interrupteur de démarrage; celui-ci excite la bobine du relais de démarrage. Lorsque les contacts du relais se ferment, un courant est fourni au démarreur, et le moteur à essence est mis en marche. Ensuite, le moteur à essence fait tourner la génératrice, et du courant est renvoyé à la batterie par l'intermédiaire du régulateur de charge.

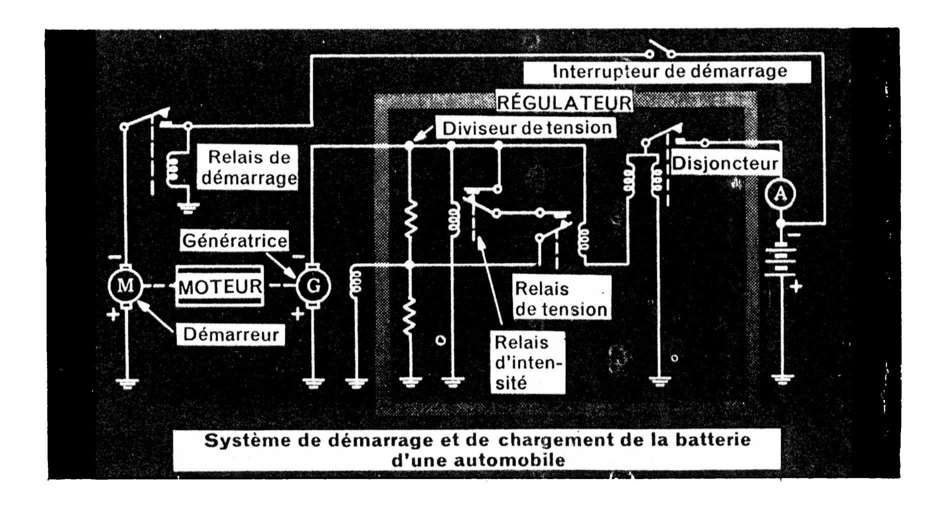


Système élémentaire d'éclairage et d'alimentation en courant électrique des accessoires dans une voiture automobile

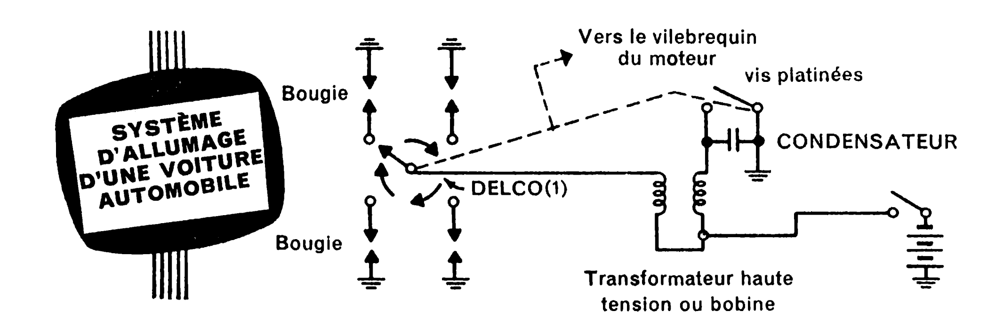
La fonction principale du régulateur consiste à empêcher l'application d'une tension ou d'une intensité trop élevées à la batterie. Ceci est réalisé par les relais à maxima et à surtension que vous pouvez voir sur le schéma suivant. Lorsque la génératrice tourne à une vitesse normale; elle fournit du courant à la batterie par l'intermédiaire des contacts fermés des trois relais du schéma. Dans ces conditions, le bobinage d'excitation de la génératrice reçoit son courant à travers les contacts des relais de courant et de tension. Elle est donc excitée par l'intégralité de la tension de sortie de l'induit de la génératrice.

Si le moteur à essence tourne à grande vitesse, une tension ou une intensité excessive (ou les deux simultanément) sera appliquée à la batterie. Une tension trop élevée provoque le passage d'une intensité supplémentaire dans la bobine du relais de tension, et les contacts associés s'ouvrent en contre-balançant la force d'un ressort. Une surintensité provoque l'ouverture des contacts du relais d'intensité. Dans l'un et l'autre cas, la bobine d'excitation de la génératrice ne peut plus être excitée par l'intégralité de la tension de sortie de l'induit de la génératrice. Par contre, la bobine d'excitation reçoit sa tension excitatrice à partir du plot de l'élément résistif diviseur de tension. Il en résulte une intensité plus faible dans la bobine d'excitation de la génératrice qui, à son tour, diminue la tension et / ou l'intensité fournie à la batterie, de manière à l'amener à un niveau convenable. Lorsque le moteur à essence fonctionne à une très grande vitesse, les contacts d'un ou des deux relais vibrent pour occuper alternativement les positions ouvert et fermé; des impulsions de haute et de basse tension ainsi que de haute et basse intensité sont transmises à la batterie, mais la moyenne s'établit à une valeur ne présentant aucun danger pour la batterie.

La fonction du disjoncteur peut être facilement comprise en supposant que le moteur à essence tourne à très faible vitesse ou est arrêté. Dans les deux cas, la tension fournie par la génératrice est beaucoup plus faible que celle de la batterie, et il s'ensuit que la batterie se déchargerait normalement dans la génératrice. Cette décharge est empêchée par les deux bobines du disjoncteur. Ces deux bobines, par leur fonctionnement simultané, assurent le maintien en position fermée des contacts des relais, à l'encontre de la force exercée par un ressort. Et ceci, aussi longtemps que la génératrice fournit une intensité et une tension de charge toutes deux normales. Toute diminution significative de la tension entre la bobine et la masse ou l'inversion du sens du courant à travers l'autre bobine provoque l'action du ressort qui ouvre les contacts du relais. De cette manière, la batterie ne peut pas se décharger par l'induit ou l'inducteur de la génératrice.



Système de démarrage et de chargement de la batterie d'une automobile



Dans le fonctionnement d'un moteur à essence, un mélange explosif de vapeur d'essence et d'air est envoyé dans un cylindre et comprimé par un piston. Lorsque ce mélange est comprimé au maximum, il est enflammé par une étincelle électrique. L'explosion qui en résulte exerce une force puissante sur le piston; celui-ci se déplace et fait tourner le vilebrequin du moteur. Le système d'allumage est destiné à fournir une étincelle, qui soit suffisamment « chaude » pour allumer le mélange essence-air, et qui soit engendrée au bon moment. À cette double fin, on utilise le circuit du schéma précédent. Le dispositif du schéma est celui d'un moteur à quatre cylindres, mais, pour que ce circuit puisse être utilisé pour un moteur à six ou huit cylindres, il suffit de faire figurer des symboles représentant les bougies supplémentaires.

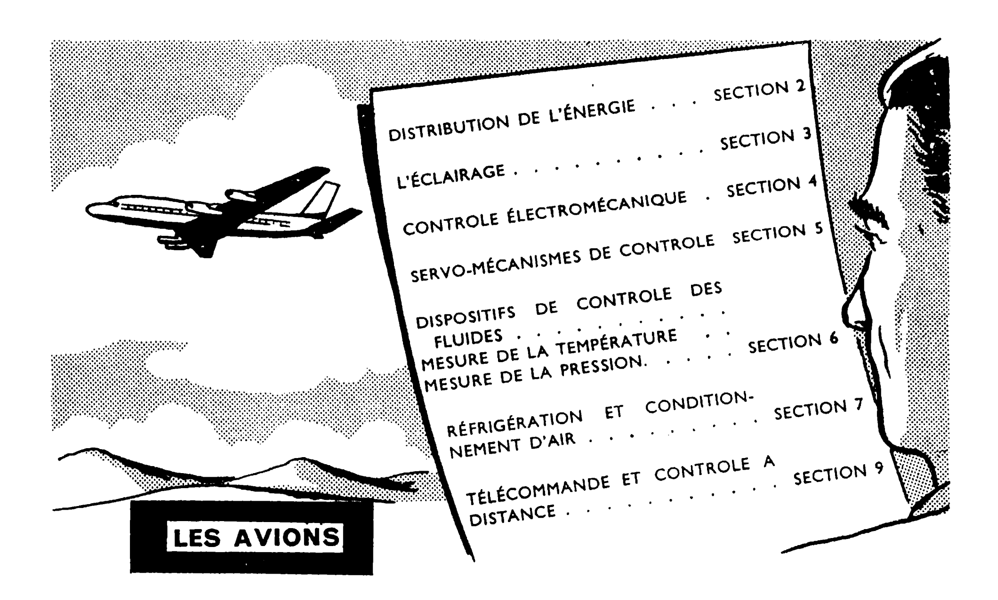
Le « delco » et les « vis platinées » sont des interrupteurs actionnés mécaniquement par la rotation du vilebrequin du moteur. Cet entraînement mécanique ferme ces interrupteurs au bon moment, et dans la position adéquate à la production de l'étincelle dans un cylindre déterminé; cylindre dans lequel le mélange comprimé est prêt à être enflammé. La paire de vis platinées s'ouvre et se ferme pour chacun des quatre cycles complets que comprend chaque rotation du vilebrequin du moteur. Le pôle de commutation rotatif du delco fait un tour complet pour chaque rotation du vilebrequin, et pour une seule rotation, il passe ainsi devant les quatre contacts. Notez que les éléments de commutation du delco sont très proches, mais ne sont jamais en contact.

Lorsque les vis platinées se touchent, il y a fermeture du circuit, et le courant se propage dans le primaire du transformateur d'allumage couramment appelé « bobine ». Ces vis demeurent en contacts pendant la plus grande partie de la compression du mélange air-essence dans un cylindre déterminé. À l'instant même où l'explosion doit se produire, les vis platinées s'ouvrent et le pôle de commutation rotatif du delco touche presque le contact correspondant à ce cylindre. Dès lors, le champ magnétique du primaire décroît subitement, et pendant sa décroissance, il traverse rapidement les nombreuses spires du secondaire. Une pointe de tension de plusieurs milliers de volts est alors engendrée aux bornes de l'enroulement secondaire. Cette pointe de tension traverse l'intervalle qui existe entre les deux contacts rapprochés dans le delco, et traverse également celui qui se trouve entre les deux électrodes de la bougie, le mélange comprimé essence-air explose.

Le condensateur est destiné à empêcher la formation d'une étincelle entre les vis platinées ouvertes, étincelle qui se traduit par des « piqûres » sur la surface polie de ces vis de contact. Du fait que le champ magnétique décroissant de l'enroulement primaire induit une tension suffisante aux bornes de cet enroulement pour engendrer une étincelle, cette dernière aurait tendance à traverser l'intervalle ouvert qui existe entre ces vis. Lorsque la pointe de tension commence à augmenter aux bornes des vis platinées, le condensateur commence à se charger, il absorbe ainsi l'augmentation de la tension.

(1) Delco = Distributeur d'étincelles.

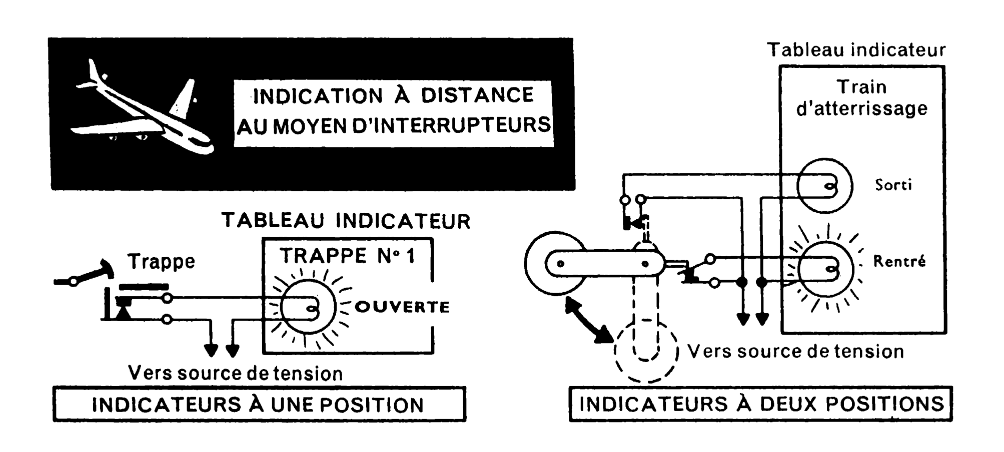
SYSTÈMES DE CONTRÔLE DES AVIONS



Les avions modernes sont munis de divers systèmes de distribution de l'énergie électrique, de circuits d'éclairage, de circuits d'allumage, d'appareillages de contrôle des fluides, d'indicateurs et de systèmes de contrôle à distance, de contrôles automatiques, de dispositifs de commande des armements, et de systèmes de communications. La plupart des sujets qui ont été étudiés dans les deux tomes de l'**ÉLECTRICITÉ INDUSTRIELLE**, font l'objet d'une application dans les avions. Du fait de l'étendue de ce sujet, le présent chapitre s'attachera seulement à donner quelques notions essentielles.

La mesure de la température est un facteur important pour le fonctionnement d'un avion. Pour que ce fonctionnement soit à la fois efficace et sans danger, il est nécessaire de connaître la température extérieure et intérieure, ainsi que celle de l'huile de graissage et des moteurs. Selon le type d'avion et la nature des mesures, la température peut être évaluée au moyen d'instruments dont le fonctionnement est basé sur la variation de la pression d'un gaz en fonction de la température, sur la dilatation et la contraction de métaux lorsque la température augmente ou diminue, sur la modification de la résistance électrique avec la température, ou encore, sur la modification d'une tension ou d'une intensité lors d'un changement de température. Toutes ces techniques ont déjà été exposées.

La mesure de la pression est également un élément important du bon fonctionnement d'un avion. Des instruments tels que le manomètre Bourdon, le manomètre à membrane, les manomètres à soufflets et leurs variantes, qui ont été exposés à la section 6, sont employés pour mesurer l'altitude, la pression de l'huile de lubrification, la pression du liquide des freins hydrauliques, la pression hydraulique des dispositifs actionnés par des fluides, la pression à l'intérieur de la cabine et la pression de l'alimentation en oxygène. Du fait que la pression atmosphérique diminue lorsque l'altitude augmente, un simple manomètre à membrane ou à soufflet peut être étalonné de manière à indiquer l'altitude de l'avion ; on l'appelle alors un « altimètre ». Comme il a été expliqué à la section 6, la cadence du passage de l'air extérieur dans un tube peut être mesurée en termes d'une différence de pression, et cette différence de pression peut être évaluée en termes de vitesse de l'avion. Ce dispositif s'appelle un « indicateur de vitesse », « badin » ou « tube de pitot ».



Lorsqu'un avion est en service, il est également important que le pilote et l'équipage disposent d'un certain nombre d'indicateurs pouvant être consultés rapidement afin de déterminer les positions essentielles au contrôle du vol et le fonctionnement des principaux appareillages mécaniques. Parmi les dispositifs dont le fonctionnement doit être connu figurent les antennes, le train d'atterrissage, les portes intérieures, les trappes ou portes extérieures, les trappes de la soute à bombes et les moyens d'attaque ou de défense de l'avion. La position relative de ces divers organes est simplement indiquée par le fait que chacun d'eux ouvre ou ferme un interrupteur électrique pour chaque position significative différente. Chaque interrupteur ouvre ou ferme un circuit qui fournit du courant à une ampoule située sur le tableau de bord. Ainsi, le tableau peut être muni d'une lampe rouge placée sous l'indication TRAPPE N° 1. Lorsque cette trappe est fermée, la pression qu'elle exerce sur un interrupteur ouvre ce dernier, et la lumière s'éteint. En revanche, lorsque cette trappe est ouverte, un ressort ferme les contacts de l'interrupteur, et le voyant rouge qui porte l'indication ouverte s'allume. Lorsqu'un organe, tel que le train d'atterrissage effectue deux manœuvres distinctes, il ferme un interrupteur pour chacune de ses deux positions. Ainsi, deux voyants lumineux figurent en-dessous de l'indication TRAIN D'ATTERRISSAGE, l'un portant l'indication SORTI et l'autre l'indication RENTRÉ. Si l'un ou l'autre de ces voyants lumineux est allumé, la position du train d'atterrissage est connue avec précision; en revanche, si les deux voyants sont éteints, le pilote sera averti d'un mauvais fonctionnement du mécanisme du train d'atterrissage et il pourra rechercher l'origine de cette défaillance.

La commande à distance des divers éléments fonctionnels constitue une autre partie des systèmes de contrôle des avions. De nombreux éléments sont commandés par les pressions hydrauliques mises en œuvre par des pompes électromécaniques, et d'autres le sont au moyen d'appareils électromécaniques à action directe. Du fait que l'action de la plupart de ces dispositifs ne peut pas toujours être observée directement par le pilote ou l'équipage, ces appareils sont généralement munis de disjoncteurs de sécurité ou de soupapes hydrauliques qui contrôlent la commande lorsque l'appareil remplit sa fonction.

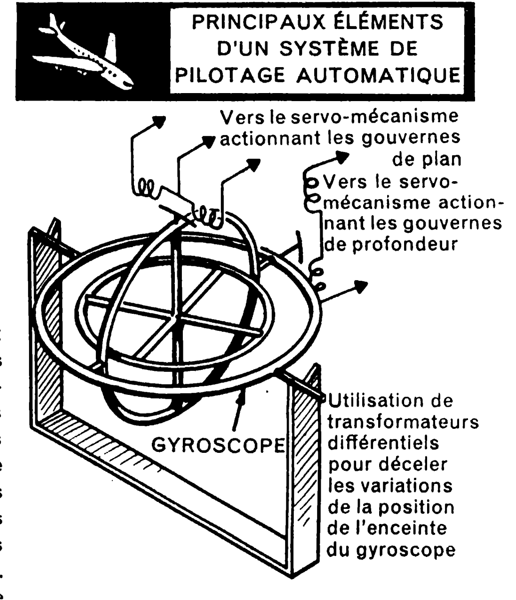
Certains organes, parmi lesquels figurent les armes des appareils militaires, peuvent être commandés suivant une grande diversité de mouvements. Dans ces utilisations, on emploie les servo-mécanismes de mise en place dont les principes fondamentaux ont été exposés à la section 5 du présent ouvrage.

Le pilote automatique est un exemple intéressant de servo-mécanisme dans un avion. Cet appareil est destiné à faire suivre à l'avion un trajet déterminé en le maintenant en palier, ou selon un angle de montée ou de descente fixé à l'avance, pendant son vol. Ce système soulage le pilote qui se voit ainsi dispensé d'un grand nombre d'heures de pilotage, à la fois fatigantes et fastidieuses; de plus, le pilote peut modifier les réglages effectués ou reprendre le contrôle, à son gré.

Le fonctionnement du pilote automatique est basé sur l'utilisation du « gyroscope ». Ce dispositif se compose d'une roue soigneusement équilibrée que l'on fait tourner à une vitesse élevée au moyen d'un entraînement à air comprimé ou d'un moteur électrique. La caractéristique remarquable d'un gyroscope est le fait que, lorsqu'il est monté sur des supports à déplacement libre, il conserve sa position dans l'espace, quelle que soit la position de l'avion.

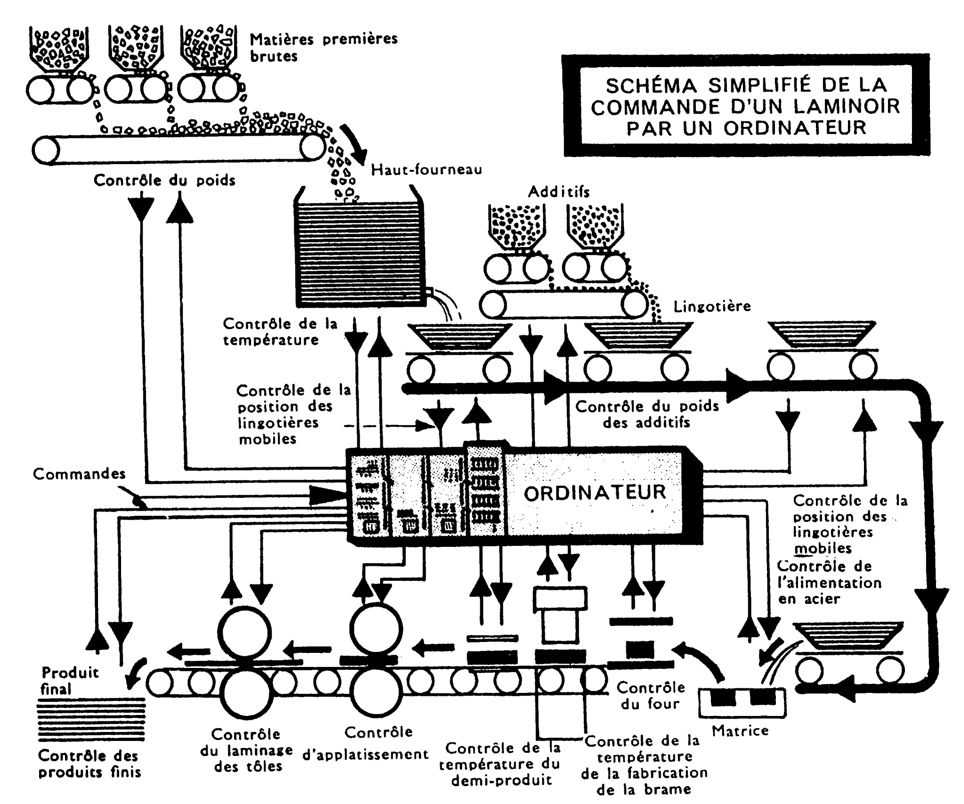
Le pilote automatique comporte deux gyroscopes placés comme le montre la figure. L'un de ces gyroscopes demeure dans une position telle que son axe de rotation demeure vertical, quelles que soient les positions des ailes, de l'avant et de l'arrière de l'avion. L'autre gyroscope conserve un axe toujours horizontal et aligné sur n'importe quelle direction choisie sur le compas, et cela quelle que soit la direction du vol.

Lors des changements d'altitude ou de direction de l'avion, les boitiers ajustés rigidement des gyroscopes, changent de position en conséquence, mais les gyroscopes conservent leur position initiale dans l'espace. Ainsi, la différence d'angle qui existe entre la position de l'enceinte et celle du gyroscope représente, respectivement pour chacun des gyroscopes, l'erreur angulaire de position et de direction de l'avion. Ces erreurs peuvent être détectées et amplifiées, puis utilisées pour actionner les gouvernes de l'avion pour rectifier sa position par rapport à la position horizontale, pour actionner les gouvernes de profondeur, pour commander la montée et / ou la descente, et le gouvernail de queue pour rectifier la direction du vol.



Les principes sont ceux des servo-mécanismes de contrôle qui ont fait l'objet de la section 5. Dans les anciens modèles de pilotes automatiques, les changements de la position de l'enceinte entourant le gyroscope provoquaient des changements de la pression de l'air dans les différentes parties de cette enceinte. Ces différences de pression étaient détectées par des manomètres à diaphragme qui actionnaient des soupapes dans les cylindres hydrauliques de commande. Les mouvements des pistons des cylindres servaient à commander les diverses gouvernes de l'avion de manière à corriger les erreurs de position ou de direction de l'avion. Dans les systèmes récents, une vaste gamme de procédés électriques et électromagnétiques est utilisée pour la détection des erreurs de position de l'enceinte qui entoure le gyroscope. Ces techniques font appel à des transducteurs électriques qui transforment les différences de position en variations de signaux électriques, par l'intermédiaire de variations de résistance, de capacité et d'induction magnétique. Des procédés électromécaniques parfois utilisés en conjonction avec des commandes hydrauliques, sont employés pour actionner les systèmes de commande de l'avion suivant les directions permettant la correction des erreurs de vol.

LA COMMANDE DES OPÉRATIONS INDUSTRIELLES À L'AIDE D'UN ORDINATEUR



Il est probable que dans un avenir relativement proche, de nombreux processus industriels seront contrôlés par des ordinateurs. Les ordinateurs sont déjà utilisés sur une échelle relativement peu étendue dans les laminoirs, les raffineries, les complexes chimiques, et dans de nombreux autres processus de l'industrie lourde. L'expérience acquise avec ces systèmes s'ajoutant à la plus grande connaissance et à l'appréciation de leurs avantages, un grand développement peut être prévu dans le domaine du contrôle des processus industriels à l'aide d'ordinateurs.

Les premières questions que vous poseriez, sans doute, en ce qui concerne ce nouveau domaine seraient les suivantes. Qu'est-ce que la commande par ordinateur? Comment le travail est-il effectué? Quels sont les avantages de ces systèmes? Quelle influence auront-ils sur notre avenir? Les paragraphes que vous allez étudier fournissent une première ébauche rapide des réponses à ces questions.

La commande par ordinateur peut être décrite en se basant sur ce que vous savez des servo-mécanismes. Vous connaissez déjà le principe fondamental du servo-mécanisme : celui-ci compare le résultat d'un processus avec l'ordre d'entrée, et il procède alors à un réglage du processus de manière que le résultat corresponde avec l'ordre d'entrée. Vous avez également vu comment une vaste gamme de transducteurs peut être utilisée pour vérifier les caractéristiques du produit fini et, de même, vous avez vu comment les détecteurs d'erreurs comparent le produit en fin de chaîne avec l'ordre d'entrée afin d'engendrer les signaux de correction nécessaires pour mener l'opération à bonne fin. Dans les cas où un grand nombre de caractéristiques du processus doivent être contrôlées simultanément, vous avez vu qu'un servo-mécanisme distinct peut être utilisé pour contrôler chacune de ces caractéristiques.

De nombreux processus industriels, tel le fonctionnement d'un laminoir, sont tellement complexes qu'il peut être nécessaire d'utiliser un grand nombre de servo-mécanismes distincts. Le réglage simultané de tous ces systèmes, sans oublier que tous ces réglages doivent être compatibles entre eux, devient un énorme programme qui implique le jugement de l'homme et la possibilité d'une erreur de ce jugement. Lorsque la nature d'une fabrication exige que les spécifications du produit final soient modifiées, une nouvelle intervention humaine est nécessaire pour effectuer à nouveau les réglages indispensables des servo-mécanismes.

Un ordinateur est une machine qui effectue un nombre considérable de calculs en un très court laps de temps. Un ordinateur peut être conçu de manière à recevoir simultanément des informations en provenance d'un grand nombre de transducteurs. Les signaux de sortie de tous ces transducteurs peuvent être comparés avec des ordres d'entrée qui décrivent mathématiquement toutes les étapes du processus désiré. L'ordinateur peut alors émettre tous les ordres de correction exigés par les divers servo-mécanismes de contrôle de l'usine.

L'avantage de la commande par ordinateur réside dans le fait que tous les processus distincts effectués à l'intérieur de l'entreprise sont comparés les uns aux autres. Il en résulte qu'un réglage approprié peut être effectué à tous les niveaux du processus d'ensemble pour garantir que le produit final est bien conforme aux spécifications. Ainsi, la commande par ordinateur minimise toutes les erreurs et garantit que le produit sera fabriqué avec une efficacité maximale et au coût le plus faible. De plus, il est possible de transmettre à l'ordinateur un nouveau jeu d'ordres d'entrée destiné à démarrer la fabrication d'un produit de spécifications différentes. Tous les ajustements nécessaires sont effectués automatiquement par l'ordinateur.

Lorsqu'un ordinateur est bien conçu, il peut être alimenté à l'aide des diverses commandes reçues par l'usine. L'ordinateur peut alors trier ces commandes de façon que la fabrication soit faite selon la séquence la plus efficace. L'ordinateur vérifie automatiquement le niveau des stocks de matières premières, et il lance des « commandes » pour le renouvellement des stocks insuffisants ou épuisés. Il en résulte que, en définitive, l'ordinateur se charge de toutes les opérations nécessaires à la bonne marche de l'usine.

Pour qu'une usine commandée par ordinateur fonctionne correctement, il faut peu de personnel non qualifié. Mais, en revanche, le personnel se compose essentiellement d'un grand nombre de techniciens de l'électricité, de l'électronique et de l'ordination. En fait, l'un des principaux obstacles au développement rapide de la commande par ordinateur est le manque de techniciens qualifiés.

Si vous vous intéressez au problème de la commande des processus industriels par les ordinateurs en temps réel, vos connaissances théoriques et votre expérience pratique peuvent se révéler suffisantes pour vous permettre de commencer à travailler en tant que technicien employé à l'installation, à l'entretien et à la réparation des divers servo-mécanismes utilisés dans une entreprise. Toutefois, si vous désirez connaître le fonctionnement et travailler sur la partie « cerveau » de l'ordinateur, vous devez continuer vos études et vous familiariser avec les concepts exposés dans la série des ouvrages l'ÉLECTRONIQUE du programme COMMON-CORE. Et enfin, si vous désirez vous perfectionner au point de travailler sur l'ordinateur lui-même, votre travail sur les volumes l'ÉLECTRONIQUE devra se poursuivre par l'étude des ordinateurs. Vous commencerez par l'ouvrage « ORDINATEURS ELECTRONIQUES. ÉLÉMENTS DE PROGRAMMATION » Editions GAMMA).

SYSTÈMES DIVERS DE CONTRÔLE INDUSTRIEL — EXPÉRIMENTATION

Au cours de cette expérimentation, vous devez apprendre à mieux connaître un certain nombre des divers systèmes de contrôle industriels décrits dans ce chapitre. Du fait de la grande diversité des équipements et systèmes faisant partie de cette catégorie, il vous faudra visiter plusieurs entreprises industrielles afin de voir fonctionner un nombre raisonnable de ces dispositifs. Préparez vos visites comme vous avez déjà eu l'occasion de le faire, c'est-à-dire en faisant une liste détaillée de tous les systèmes qui figurent dans cette section et en l'envoyant aux usines locales dont vous pensez qu'elles possèdent ces équipements. Demandez-leur d'indiquer les systèmes qu'elles utilisent et sollicitez l'autorisation de les voir fonctionner.

Avant chaque visite, vérifiez la liste des dispositifs que vous allez observer, et revoyez les passages relatifs à ces appareils. Faites des schémas de leur construction et de leur fonctionnement, et emportez-les lors de votre visite.

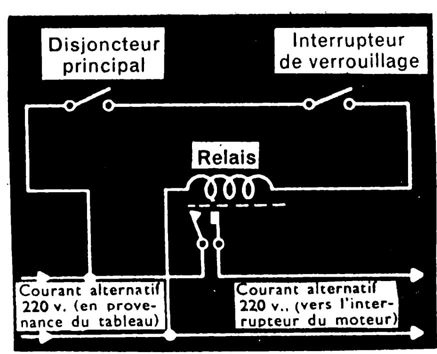
Lorsque vous observez le fonctionnement de chacun des équipements, comparez votre schéma au dispositif que vous voyez fonctionner. Soyez seulement attentifs aux différences qui indiquent des variantes des principes de fonctionnement. Modifiez vos schémas pour y faire figurer ces différences. Ou même, si elles sont particulièrement importantes, faites un nouveau schéma sur lequel vous indiquerez les principales caractéristiques de construction et de fonctionnement du système. Si le nouveau système est trop complexe pour faire l'objet d'un schéma détaillé, n'hésitez pas à utiliser des schémas synoptiques et des schémas de construction très simplifiés.

Lorsque la visite est terminée, toute la classe doit se réunir pour discuter et revoir ensemble ce qui a été observé. Faites particulièrement attention aux différences significatives qui peuvent exister entre le système observé et le système équivalent décrit au cours de cette section. Les avantages découlant de ces différences doivent être soigneusement discutés.



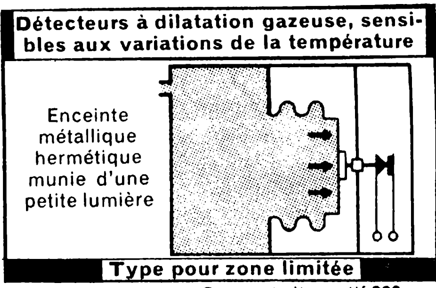
SYSTÈMES INDUSTRIELS DE CONTRÔLE — RÉVISION

INTERRUPTEURS DE SÉCURITÉ — Pour éviter les accidents du travail, les machines et les zones dangereuses comportent des interrupteurs de sécurité et des interrupteurs de verrouillage qui coupent l'arrivée du courant électrique lorsque des membres du personnel pénètrent dans ces zones dangereuses.



INTERRUPTEUR DE VERROUILLAGE AVEC RELAIS

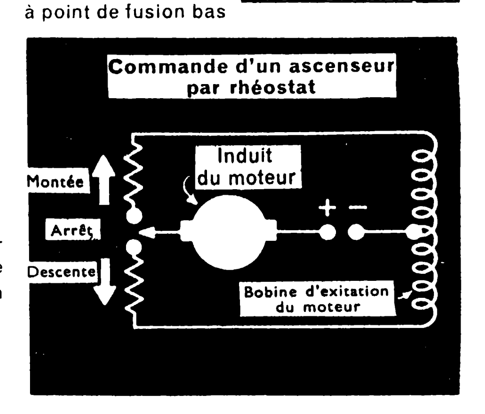
DÉTECTEURS DE TEMPÉRATURE — Certains systèmes industriels automatiques de lutte contre l'incendie comportent des thermostats à lame bimétal ou à dilatation gazeuse; ces dispositifs détectent les températures dangereusement élevées et excitent des signaux d'alarme et des appareils dont le fonctionnement se traduit par une projection d'eau sur la zone d'origine du signal. Les dispositifs à dilatation gazeuse peuvent être conçus de manière que leur fonctionnement n'ait lieu qu'en cas d'augmentation rapide de la température, et non en cas de température simplement élevée.



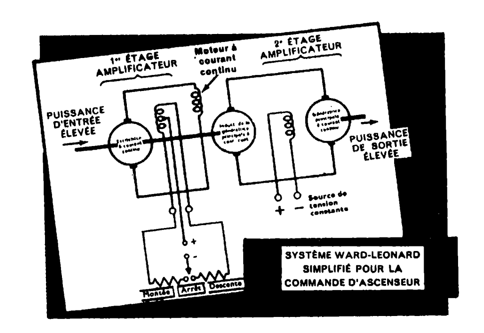
Courant alternatif 220 v.
Tube métallique externe
Isolant en spirale
Relais du signal d'alarme
Métal à point de fusion bas
TYPE OUVERTURE DE CIRCUIT

DÉTECTEURS ÉLECTRIQUES D'INCENDIE — Du fil conducteur fait d'un métal à point de fusion bas peut être utilisé pour surveiller de vastes zones dans lesquelles il servira à détecter les températures anormalement élevées.

COMMANDE D'UN ASCENSEUR PAR RHÉOSTAT — C'est la méthode électrique la plus simple pour arrêter, faire monter ou faire descendre un ascenseur.

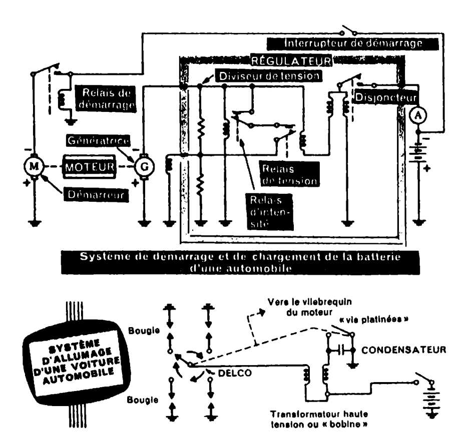


SYSTÈMES PERFECTIONNÉS DE COMMANDE D'UN ASCENSEUR — Le groupe Ward-Léonard est le plus simple système de commande permettant à un opérateur de faire fonctionner un ascenseur efficacement et sans à-coups. Les systèmes entièrement automatiques comportent des dispositifs de fermeture et d'ouverture automatique des portes, des dispositifs interrupteurs placés dans le puits de la cabine et destinés à arrêter cette cabine à l'étage indiqué, et une vaste gamme d'appareillages et de dispositifs.



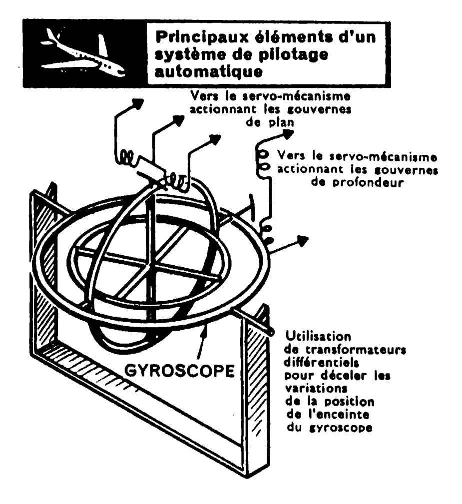
SYSTÈME WARD-LEONARD SIMPLIFIÉ POUR LA COMMANDE D'ASCENSEUR

SYSTÈMES DE CONTRÔLE DES VÉHICULES AUTOMOBILES — Les systèmes d'éclairage et d'alimentation en courant des accessoires d'un véhicule automobile sont des montages simples dans lesquels des interrupteurs connectent des ampoules et d'autres dispositifs à une batterie. Cette batterie est chargée par une génératrice actionnée par le moteur, et elle est protégée par des relais de surtension et de surintensité. Le mélange essence-air qui se trouve dans les divers cylindres du moteur est allumé, en séquence correcte, par un système composé d'un delco, d'une bobine et de bougies.



Système de démarrage et de chargement de la batterie d'une automobile

SYSTÈMES DE CONTRÔLE DES AVIONS — La plupart des sujets examinés dans le présent ouvrage trouvent leur application dans les avions. Parmi ces sujets figurent les systèmes de distribution de l'énergie électrique, les systèmes d'éclairage, les servo-mécanismes, les systèmes de conditionnement d'air, les dispositifs de contrôle des fluides, les indicateurs et les systèmes de commande à distance, ainsi que d'autres dispositifs.



INDEX

INDEX DES VOLUMES 1 et 2

VAN VALKENBURGH
NOOGER & NEVILLE, INC.
Ingénieurs conseils en organisation et en formation

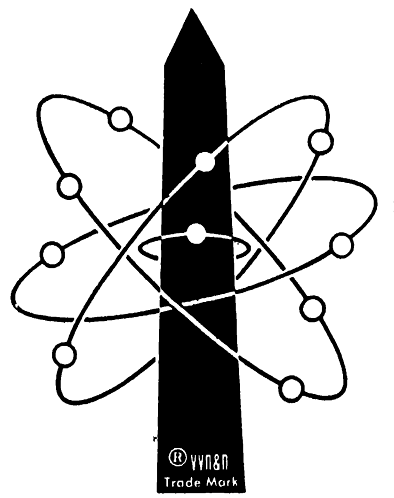
ÉLECTRICITÉ INDUSTRIELLE

FASCICULE PROGRAMMÉ COMPLÉMENTAIRE

Version française
de Jacques MATALON

Direction pédagogique
Armand BIANCHERI

pour les volumes 1-2



COMMON-CORE

Procédé TRAINER-TESTER ®

THE BROLET PRESS NEW YORK
ÉDITIONS GAMMA
1, rue Garancière, Paris VI•
9, rue B. Frison, Tournai (Belgique)

Édition française, 1re édition 1968

INTRODUCTION PÉDAGOGIQUE
AU FASCICULE PROGRAMMÉ COMPLÉMENTAIRE

Ce fascicule a pour objet d'offrir à nos lecteurs la possibilité de contrôler et d'affermir leurs connaissances à partir des réponses, exactes ou erronées, qu'ils donneront aux questions construites tout spécialement dans le but de compléter les deux volumes de cet ouvrage. Les élèves qui travaillent seuls pourront ainsi acquérir un savoir plus sûr et plus aisément disponible. Les élèves qui travaillent en groupe ou dans des classes de type traditionnel pourront, de leur côté, économiser un temps précieux. Leurs professeurs et leurs moniteurs, débarrassés par ce fascicule d'une tâche de correction ou de répétition souvent lourde et fastidieuse, seront plus libres de se consacrer à leurs tâches si importantes de réflexion et de création.

Les deux volumes de l'Électricité Industrielle et le fascicule programmé complémentaire constituent donc un *ensemble indissociable*; les textes de base, le questionnaire auto-élucidatif à choix multiple et le système TRAINER-TESTER ne sauraient, en effet, être séparés les uns des autres.

* * *

Cet ensemble offre des possibilités d'utilisation qui se situent à deux niveaux au moins : celui de *l'acquisition* et celui de la *vérification.*

Acquisition — L'élève qui souhaite commencer avec lui son apprentissage doit, dans un premier temps, étudier très attentivement le texte des ouvrages de base. Cette étude lui sera facile car ce texte ainsi que les schémas qui l'illustrent se révèlent d'une grande clarté et d'un intérêt soutenu. Dans un deuxième temps, l'élève se confiera au questionnaire auto-élucidatif pour contrôler, pour consolider et éventuellement rectifier ce qu'il a appris.

Vérification — L'élève qui part d'un niveau de connaissances qu'il voudrait vérifier doit, bien sûr, procéder de façon inverse. Il commence par attaquer le questionnaire auto-élucidatif et ce dernier, en décelant ses lacunes, va le diriger vers les deux ouvrages de base et, plus exactement, vers les passages qui concernent les domaines qu'il connaît mal.

* * *

Rappelons le contenu et le plan des deux ouvrages consacrés à l' « Électricité Industrielle ».

COMMENT RÉPONDRE AU QUESTIONNAIRE ET UTILISER LA FEUILLE TRAINER-TESTER

1) Le QUESTIONNAIRE comporte 110 questions numérotées de 1 à 110; chacune d'elles est suivie de quatre réponses a), b), c), et d) dont une seule est correcte. Dans chaque cas vous devez choisir la réponse a), b), c) ou d) qui vous semble exacte.

2) Vous vous reportez ensuite à la feuille TRAINER-TESTER annexée à la brochure. Dans la colonne « Question » vous repérez le numéro de la question à laquelle vous désirez répondre. A droite de ce numéro se trouvent 4 rectangles recouverts d'un cache et disposés dans les colonnes a), b), c), d) qui correspondent aux 4 réponses possibles. Suivant la réponse que vous avez choisie vous gommez l'un de ces rectangles. Utilisez de préférence une gomme à encre, une gomme de machine ou une gomme sertie sur un crayon, c'est-à-dire une gomme à la fois *dure* et *mince*.

3) En gommant la cache vous faites apparaître une lettre : H, E, L ou T.

4) Si la lettre E apparaît, votre réponse est correcte et vous passez à la question suivante.

5) Si vous voyez apparaître la lettre H, L ou T, c'est que vous avez mal assimilé un passage de votre cours et que vous devez, en vous reportant au passage incriminé, redresser vous-même votre erreur. En vous reportant à la feuille COMMENTAIRES placée en fin de volume vous verrez que les lettres H, L ou T vous renvoient, pour chaque question, à la page qu'il faut revoir (par ex. : 14B). La lettre vous renvoie au paragraphe A pour 1, B pour 2, etc... (deuxième paragraphe dans notre exemple).

6) Vous choisissez ensuite une nouvelle réponse et vous répétez l'opération comme au n° 2 ci-dessus.

7) Essayez d'effacer le moins possible. Ne cherchez pas à gommer au hasard. Ne commencez pas à gommer à moins d'être persuadé d'avoir choisi la bonne réponse.

* * *

La technique pédagogique mise en œuvre par le questionnaire a été inventée, perfectionnée et validée par le psychologue américain Sidney PRESSEY, psychologue que la plupart des spécialistes s'accordent à reconnaître comme l'un des tout premiers promoteurs de l'enseignement programmé.

Vous allez découvrir vous-même, et très rapidement, l'efficacité surprenante de cette technique. Les mailles serrées du questionnaire-grille vont en effet filtrer vos connaissances, accepter celles qui ont été correctement assimilées et déceler impitoyablement les points mal compris. En cas d'erreur vous serez invité à *élucider vous-même* la nature et le contenu de votre erreur pour revenir, plus fort et plus simple, vers la grille. Il faudra bien suivre la règle du jeu : ne répondre à une question qu'après avoir découvert soit directement, soit après un, deux ou trois essais, la bonne réponse à la question précédente. Ce jeu, excitant et stimulant, n'aura d'autre partenaire que vous-même. Vous vous dédoublerez vous-même en deux personnages : le professeur et l'élève. Et ces personnages entreprendront ainsi, pour votre plus grand bien, un passionnant dialogue.

Volume 1

Volume 2

Dans chacune des parties de ces deux ouvrages, de la section 2 à la section 11, les concepts fondamentaux et les points principaux ont été très attentivement programmés et décomposés en petites unités bien assimilables. Les questions relatives à chaque section ont été ensuite préparées de manière à bien contrôler, par des interrogations extrêmement précises sur les éléments et les détails les plus significatifs, l'exactitude et la sûreté des connaissances essentielles. A l'exception de la section n° 1 (Introduction), chacune des sections des deux tomes a fait l'objet de questions auto-élucidatives. Nos élèves bénéficieront ainsi de la possibilité de contrôler, section après section, le résultat de leur travail. Ils auront les plus grandes chances de donner, d'emblée, des réponses exactes. Au cas où ils commettraient des erreurs, il leur suffira de se reporter immédiatement aux passages qui leur seront signalés pour éclaircir ainsi, de manière définitive, les obscurités ou les incertitudes.

VOLUME I

Questions multi-choix relatives à

LA DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

Volume I — Section 2 (pages 6 à 31)

1 — Le type d'énergie électrique le plus utilisé dans les entreprises industrielles modernes de grande dimension est

a) le courant continu, 220 V.
b) le courant monophasé, 50 périodes
c) le courant biphasé, 50 périodes
d) le courant triphasé, 50 périodes

2 — La tension aux bornes des deux fils sous tension d'un système monophasé trifilaire de distribution d'énergie électrique (courant alternatif) est

a) 115 volts
b) 380 volts
c) 208 volts
d) 120 volts

3 — Les risques d'électrocution peuvent être pratiquement éliminés en reliant à la terre

a) toutes les boîtes et tableaux de distribution
b) tous les tableaux de fusibles
c) tous les carters et enceintes de moteurs
d) toutes les enceintes et tous les carters métalliques

4 — Dans un système de distribution d'énergie électrique bien conçu et mis à la terre, le fil neutre est toujours

a) gris
b) rouge
c) noir ou bleu
d) noir avec des marques rouges

5 — Les câbles électriques pénètrent dans un bâtiment en traversant les dispositifs de protection appelés

a) colonnes montantes
b) interrupteurs d'arrivée
c) arrivées principales
d) tableaux de fusibles

6 — Dans les constructions présentant un danger d'incendie on utilise le type de câblage appelé

a) câble blindé
b) tube tôle
c) câble armé à isolation minérale
d) cable armé non métallique

7 — La plus pratique, sans doute, des méthodes utilisées pour le câblage d'une entreprise industrielle moderne fait emploi

a) de tube à paroi mince
b) de canalisations souterraines
c) d'isolateurs et de conducteurs
d) de conduites omnibus

8 — Comment doit-on définir le fil électrique qu'il faut utiliser pour une installation déterminée?

a) A partir de calculs.
b) En consultant les divers règlements en vigueur.
c) En estimant les besoins.
d) Tous les fils conviennent.

9 — L'appareil qui sert habituellement à couper le courant de manière à isoler l'usine du secteur électrique est

a) le disjoncteur général
b) le relais principal
c) le tableau principal de distribution
d) la boîte de fusibles

10 — L'appareil utilisé pour répartir le courant provenant de la ligne principale entre les diverses colonnes montantes s'appelle

a) la boîte de jonction
b) la boîte de commutation
c) le tableau ou la boîte de distribution
d) la boîte d'extrémité

11 — Les appareils et équipements électriques modernes ne présentent plus de risques d'électrocution car ils sont munis

a) d'un coupe-circuit
b) d'une prise à trois fiches
c) d'une prise à deux fiches
d) d'une enceinte métallique

L'ÉCLAIRAGE

Volume 1 — Section 3 (Pages 32 à 55)

12 — L'unité qui sert à exprimer l'intensité d'une source lumineuse s'appelle

a) la bougie
b) l'ampoule standard
c) le lumen
d) la bougie par unité de surface

13 — La principale source d'éclairage utilisée dans l'industrie est

a) la lampe fluorescente
b) la lampe à incandescence
c) l'arc au mercure
d) l'arc au charbon

14 — Lorsqu'un éclairage à tubes fluorescents provoque un scintillement continu et rapide, ce scintillement est généralement provoqué par

a) une mauvaise utilisation
b) l'emploi de courant alternatif
c) un starter défectueux
d) une tension excessive

15 — Parmi les cinq méthodes fondamentales d'éclairage, celle qui diffuse le moins de courant vers le bas s'appelle

a) l'éclairage diffus
b) l'éclairage semi-direct
c) l'éclairage semi-indirect
d) l'éclairage indirect

16 — Le système d'éclairage qui diffuse le plus de lumière sur une surface de travail s'appelle

a) l'éclairage de groupe
b) l'éclairage général
c) l'éclairage individuel
d) l'éclairage à l'arc

17 — La mesure de la partie de la lumière émise par le montage qui parvient sur le plan de travail s'obtient par

a) la méthode de Harrison et Anderson
b) le coefficient d'utilisation
c) le coefficient d'entretien
d) le rapport de la pièce

18 — La pièce qui permet de travailler dans les meilleures conditions d'éclairement lorsque la lumière est fournie par des montages à éclairage direct est

a) allongée et étroite
b) carrée et de grande dimension
c) basse de plafond et de petite taille
d) large et très haute de plafond

19 — Une manière simple et précise de contrôler le niveau lumineux consiste à utiliser

a) un posemètre et un appareil de mesure
b) un voltmètre
c) une règle à calcul
d) le catalogue du fabricant de montages

20 — Pour commander un groupe de lampes électriques à partir de deux emplacements différents, il faut disposer d'au moins

a) quatre interrupteurs
b) trois interrupteurs
c) deux interrupteurs
d) un interrupteur

21 — Pour commander un groupe de lampes électriques à partir de trois endroits différents, il faut utiliser deux navettes et

a) un interrupteur bipolaire
b) une autre navette
c) deux interrupteurs à quatre directions
d) un interrupteur à quatre directions

22 — La manière la plus simple de commander, à partir d'endroits différents, l'éclairage de diverses zones consiste à utiliser

a) un interrupteur principal d'arrivée
b) un ensemble composé de commutateurs rotatifs
c) un système de relais
d) un tableau de commande

LA COMMANDE DES MACHINES ÉLECTROMÉCANIQUES

Volume 1 — Section 4 (Pages 56 à 79)

23 — L'appareillage qui comporte les divers dispositifs nécessaires pour assurer la protection d'un moteur électrique lors de son démarrage, pendant son fonctionnement et lors de son arrêt est constitué par

a) un fusible
b) un système de protection contre les surcharges
c) un système de commande de moteur
d) un interrupteur de type minuterie

24 — Le procédé d'arrêt rapide d'un moteur électrique par inversion du sens des forces électriques d'entraînement est

a) la commutation inversée
b) la commutation rapide
c) le blocage rapide
d) l'inversion

25 — L'électro-aimant dont le rôle consiste à déplacer des objets est du type

a) aimant porteur
b) aimant tracteur
c) à courant continu
d) à courant alternatif

26 — L'aimantation qui demeure dans un aimant à courant continu après coupure du courant peut être supprimée par

a) un circuit résistance-capacité
b) un interrupteur immergé dans l'huile
c) la mise en court-circuit de l'enroulement
d) l'application d'un faible courant inverse

27 — Les embrayages magnétiques sont utilisés pour connecter une charge et un moteur car

a) ils protègent des chocs et des surcharges
b) ils permettent un décalage des axes dans l'espace
c) ils économisent de l'énergie électrique
d) ils constituent un moyen simple et pratique de contrôle de la vitesse

28 — Le fonctionnement des embrayages par hystérésis résulte

a) d'un frottement
b) de l'induction de pôles magnétiques
c) de l'induction de courants de Foucault
d) d'un entraînement par un fluide

29 — Le fonctionnement des freins électromagnétiques est une application du principe utilisé dans

a) les freins mécaniques
b) les freins hydrauliques
c) les aimants de levage
d) les embrayages électromagnétiques

30 — Le meilleur moyen d'augmenter la force de traction d'un solénoïde consiste à utiliser

a) une enceinte en fer ou en acier
b) un noyau mobile plus long
c) un amortisseur
d) un ressort plus fort

31 — Dans les applications industrielles, les relais sont excités

a) seulement par des sur et sous-intensités
b) seulement par des sur et sous-tensions
c) seulement par des changements de phase et de fréquence
d) par tous les facteurs précédents

32 — Les disjoncteurs sont utilisés pour empêcher

a) de trop grands déplacements de la charge
b) la surcharge du moteur
c) une trop grande consommation d'énergie
d) une trop grande vitesse du moteur

33 — En général, les contacts d'une minuterie simple sont actionnés par

a) des aimants tracteurs
b) des aimants porteurs
c) des disques tournants
d) des relais

SERVOMÉCANISMES ÉLECTROMÉCANIQUES DE CONTROLE ET DE COMMANDE

Volume 1 — Section 5 (Pages 80 à 103)

34 — La caractéristique fondamentale qui permet de reconnaître un servomécanisme est l'une des suivantes :

a) il fait un travail très complexe
b) il est plus économique
c) il corrige ses erreurs
d) il se compose d'unités complexes

35 — Dans un servomécanisme, la fonction qui consiste à modifier la condition de charge existante pour la transformer en condition de charge souhaitable est exécutée par

a) le système de commande
b) le détecteur d'erreur
c) la charge
d) les engrenages

36 — Le dispositif qui transforme le mouvement mécanique en un signal électrique ou vice versa est

a) le convertisseur
b) le transducteur électromécanique
c) le système de commande
d) le transformateur

37 — Du point de vue de son utilisation dans un servomécanisme, le principal avantage de l'extensomètre par rapport au potentiomètre est qu'il

a) est plus économique
b) est plus petit
c) détecte des mouvements de plus faible amplitude
d) fournit un signal de sortie plus fort

38 — En utilisation normale, les variations de la tension de sortie d'un transformateur différentiel résultent d'une modification

a) de la phase de la tension d'entrée
b) de la distance entre les enroulements
c) de l'amplitude de la tension d'entrée
d) de la position du noyau

39 — Le système de synchronisation est un dispositif transducteur qui est particulièrement utile pour fournir des signaux électriques proportionnels

a) à un mouvement synchrone
b) à la rotation d'un axe
c) à une force mécanique
d) au temps

40 — Le tachymètre est un transducteur électromécanique qui mesure

a) la vitesse de rotation d'un axe
b) le nombre de tours d'un axe
c) une pression mécanique
d) la température d'un moteur

41 — Le mouvement mécanique produit par le système de commande d'un servomécanisme est proportionnel

a) à la charge
b) à la sortie transducteur-charge
c) à la taille du moteur
d) au signal correcteur d'erreur

42 — Le fonctionnement du système Ward-Léonard est basé sur la variation du courant de l'inducteur de la génératrice, du point de vue de

a) sa polarité et de sa fréquence
b) sa phase et de son amplitude
c) son amplitude et de sa polarité
d) sa fréquence et de sa phase

43 — L'amplification de puissance du système Ward-Léonard est de l'ordre de

a) 1
b) 10
c) 100
d) 10 000

44 — L'amplidyne est essentiellement une génératrice à courant continu qui utilise

a) des inducteurs plus grands
b) un enroulement de rotor supplémentaire
c) un courant d'induit contrôlé
d) le flux de réaction d'induit

DISPOSITIFS DE CONTRÔLE DES FLUIDES

Volume 1 — Section 6 (Pages 104 à 129)

45 — Lorsqu'on soutire du liquide d'un récipient hermétiquement clos, l'enceinte intérieure se trouve en dépression. Comment appelle-t-on la pression dans ce cas?

a) la pression réelle
b) la pression atmosphérique
c) la pression d'aspiration ou de vide
d) la pression interne

46 — Dans une pompe fonctionnant dans des conditions normales, la relation entre la pression d'entrée et la pression de sortie peut toujours être décrite comme suit :

a) pression de sortie plus élevée
b) pressions égales
c) pression d'entrée plus élevée
d) suivant le type de pompe, la relation est différente

47 — Les principales caractéristiques d'une pompe à piston sont

a) volume constant, pression variable
b) volume variable, pression constante
c) volume constant, pression constante
d) volume et pression variables

48 — Le dispositif de contrôle des fluides qui réduit les pulsations de pression en permettant au fluide de pénétrer dans une enceinte à volume variable est constitué par

a) une soupape réductrice de pression
b) une soupape d'échappement
c) une soupape à diaphragme
d) un accumulateur

49 — La partie sensible à la pression du manomètre de Bourdon est

a) un diaphragme souple
b) un tube de forme courbe
c) un soufflet
d) un piston mobile

50 — Dans une vanne élémentaire domestique, comme celle d'un robinet de lavabo, l'élément qui détermine le débit d'eau est

a) une aiguille
b) une lumière en V
c) un disque papillon
d) une rondelle en caoutchouc

51 — Dans les applications où l'on désire ouvrir et fermer une vanne le plus rapidement possible, au moyen d'un système électrique, le dispositif le plus adéquat pour la commande de la vanne est

a) un solénoïde
b) un moteur
c) un relais
d) un inverseur bipolaire

52 — L'un des principaux avantages d'une mesure électromagnétique des débits qui ne fait appel à aucune pièce mécanique est

a) son économie
b) la suppression des risques d'incendie
c) le fait qu'elle peut mesurer un débit d'huile
d) le fait qu'elle ne gêne pas l'écoulement

53 — L'une des principales raisons de l'emploi d'appareils électriques pour la mesure de niveaux de liquide est le fait

a) qu'ils sont les plus économiques
b) qu'ils permettent la mesure, la commande et le contrôle à distance
c) qu'ils sont plus précis
d) qu'ils sont plus sûrs

54 — Quand la température est mesurée à l'aide d'un matériau thermo-résistant, la caractéristique qui indique une élévation de température est

a) une augmentation de la résistance
b) une diminution de la résistance
c) une augmentation de la pression
d) une diminution de la longueur

55 — Le fonctionnement d'un thermocouple est basé sur le fait que le chauffage d'une jonction composée de deux métaux différents provoque

a) une augmentation de la résistance
b) une augmentation de la tension alternative
c) une augmentation de la tension continue
d) une déformation de l'élément

VOLUME II

Questions multichoix relatives aux

SYSTÈMES INDUSTRIELS DE CONTRÔLE DES FLUIDES

Volume 2 — Section 7 (Pages 1 à 25)

56 — Le sous-système qui assure le transport de la vapeur, de l'eau ou de l'air chauffé depuis le lieu où brûle le combustible jusqu'aux endroits où la chaleur est souhaitée s'appelle

a) système de commande
b) système de circulation
c) échangeur central de température
d) unité de combustion

57 — Dans une unité de combustion à mazout à commande électrique, le mazout pulvérisé est allumé par

a) des électrodes
b) une lame bimétal
c) un interrupteur
d) un thermostat

58 — Dans une unité de combustion à commande électrique, le dispositif qui détecte le non-allumage est

a) le transformateur d'allumage
b) le détecteur de flamme
c) le thermostat
d) l'élément résistif

59 — Quand on chauffe un immeuble de grande dimension, une méthode simple de contrôle de la température de chaque zone consiste à équiper chacune de ces dernières

a) d'une chaudière
b) d'un échangeur de température
c) d'un thermostat
d) d'un thermostat et d'un système de circulation

60 — Le dispositif qui arrête une circulation excessive dans un système de chauffage à eau chaude et qui empêche ainsi le refroidissement des parois de la chaudière est

a) le thermostat de la pièce
b) le détecteur de flamme
c) le thermostat à immersion
d) la soupape de sécurité

61 — Dans un système industriel de réfrigération, l'effet de refroidissement est basé sur le fait que les liquides absorbent de la chaleur quand ils

a) s'évaporent
b) se condensent
c) sont comprimés
d) traversent une pompe

62 — Dans un système industriel de réfrigération à grande capacité, le réfrigérant est collecté dans

a) la soupape de dilatation
b) le compresseur
c) l'évaporateur
d) le réservoir d'accumulation

63 — Le dispositif fondamental utilisé pour contrôler électriquement un système de réfrigération est

a) un thermocouple
b) une thermistance
c) un interrupteur sensible à la température
d) un thermomètre à résistance

64 — De nombreux systèmes industriels de conditionnement d'air déshydratent l'air au moyen

a) d'un four chauffé
b) d'un dessicateur chimique
c) d'une pulvérisation d'eau chaude
d) d'une pulvérisation d'eau froide

65 — Le principe du « dépoussiérage électrostatique » consiste à charger électriquement les particules de poussière ou de fumée avant de les extraire

a) en les attirant sur une surface métallique
b) en les repoussant dans une pulvérisation d'eau
c) en les attirant dans une pulvérisation d'huile
d) au moyen d'un système aspirateur

66 — Dans un système automatique de traitement de liquides ou de gaz, chaque caractéristique essentielle du processus est contrôlée par

a) un réseau de relais
b) une boucle de contrôle
c) un transducteur
d) un système de commande

CONTRÔLE DE FABRICATION ET VÉRIFICATION DES PRODUITS

Volume 2 — Section 8 (Pages 26 à 49)

67 — Dans sa forme la plus élémentaire, le contrôle électrique de la coupe permet d'obtenir un produit de longueur convenable en détectant la partie antérieure du matériau au moyen d'un

a) interrupteur
b) relais
c) circuit de contrôle
d) thermostat

68 — Pendant le processus d'inspection de la longueur du produit, l'opération la plus fondamentale qu'il est nécessaire de mener à bien consiste à

a) mesurer la longueur de manière précise
b) vérifier que la longueur est bien dans certaines limites choisies
c) vérifier que la longueur est à 1 % près celle indiquée dans la spécification
d) vérifier que la longueur est à 10 % près celle indiquée dans la spécification

69 — Dans le montage utilisé pour l'inspection de la longueur des produits, il faut considérer un matériau comme trop long si ses extrémités élèvent simultanément

a) deux interrupteurs intérieurs
b) deux interrupteurs centraux
c) deux interrupteurs extérieurs
d) un interrupteur intérieur et un interrupteur extérieur

70 — Le nombre d'interrupteurs nécessaires pour situer la largeur d'un produit entre les deux extrêmes — trop large — trop étroit — est

a) un
b) deux
c) trois
d) quatre

71 — Les dispositifs élémentaires nécessaires pour faire une mesure simple mais précise d'un produit sont composés

a) d'un potentiomètre et d'un voltmètre à zéro central
b) d'un relais et d'un voltmètre à zéro central
c) d'un solénoïde et d'un relais
d) de deux interrupteurs et d'un relais

72 — Pour déterminer automatiquement la largeur d'un produit, un servo-mécanisme de mesure de la largeur peut être utilisé en vue de commander

a) un voltmètre à zéro central
c) un détecteur de largeur
d) des outils de façonnage en largeur

73 — Dans un système automatique de remplissage de récipients, le poids voulu est obtenu en ajoutant du matériau jusqu'au poids d'équilibre puis

a) en enlevant le surplus de matériau
b) en interrompant l'arrivée du matériau
c) en remplissant le récipient jusqu'à son bord
d) en remplissant le récipient pour que son contenu soit à la hauteur d'une indication portée sur son côté

74 — Dans un système automatique de pesée à deux trappes, le débit du matériau est interrompu par la fermeture de la grande et de la petite trappe. Ces fermetures se déroulent selon l'une des séquences suivantes :

a) fermeture simultanée des deux trappes
b) fermeture de la petite trappe, puis de la grande
c) fermeture de la grande trappe, puis de la petite
d) fermeture des deux trappes, puis ouverture de la petite

75 — Dans un système automatique de pesée à convoyeur, le déversement du matériau dans le récipient final est déterminé

a) par la servocommande de la vitesse de la courroie du convoyeur
b) en comptant les tours du moteur d'entraînement de la courroie
c) par une commande par interrupteur du moteur d'entraînement de la courroie
d) par l'enlèvement du récipient au moment adéquat

76 — Pour vérifier le poids d'un produit, le procédé automatique le plus simple et le plus efficace consiste à équiper le système de pesée

a) d'un servomécanisme de mesure
b) d'un grand cadran éclairé

c) d'un potentiomètre et d'un relais
d) de détecteurs de « poids supérieur à la norme » et de « poids inférieur à la norme »

77 — Pour transformer un compteur à commande mécanique en un compteur à commande électrique, il faut utiliser

a) un potentiomètre et un servomoteur
b) un interrupteur et un solénoïde
c) deux relais
d) un interrupteur et deux relais

TÉLÉCOMMANDE, TÉLÉMESURE, ET CONTRÔLE A DISTANCE

Volume 2 — Section 9 (Pages 50 à 69)

78 — Dans la commande à distance où la seule interférence est la perte de signal résultant de la résistance des fils de connexion, cette interférence peut être corrigée par

a) la transmission des signaux de référence
b) l'utilisation d'un suppresseur d'interférence
c) l'emploi d'un fil plus gros
d) l'étalonnage de l'appareil de mesure de la sortie

79 — Dans la commande à distance, les pertes élevées dues à la résistance des longs conducteurs de connexion sont supprimées par l'utilisation

a) d'une série de relais
b) d'une série de potentiomètres
c) d'amplificateurs électroniques
d) de fil à faible résistance

80 — La perturbation causée par l'interférence électrique peut être surmontée par

a) l'utilisation de signaux de référence
b) l'utilisation d'amplificateurs stables
c) la suppression de la cause de l'interférence
d) le filtrage de l'interférence

81 — Les enregistreurs à abaque sont utilisés dans l'industrie pour la surveillance à distance car

a) ils sont d'un emploi économique
b) ils accélèrent la production
c) ils fournissent des enregistrements durables
d) ce sont les plus précis

82 — Dans certains enregistreurs à abaque, le style enregistreur est actionné par un mécanisme d'appareil de mesure; dans d'autres enregistreurs le style est actionné par

a) un système d'engrenages
b) un servo-moteur
c) un système de levier
d) un solénoïde

83 — L'avantage résultant de l'utilisation d'un enregistreur à plusieurs voies pour afficher un certain nombre de signaux sur le même abaque est essentiellement

a) un moindre coût
b) un gain de place

c) un moindre coût et un gain de place
d) une amélioration pratique et un gain de place

84 — Lorsqu'on transmet un certain nombre de signaux dans une ligne bifilaire en appliquant la technique qui consiste à superposer ces signaux sur des porteurs, les signaux sont séparés en utilisant

a) un récepteur pour chaque signal
b) un seul récepteur
c) un enregistreur à plusieurs voies
d) un sélecteur

85 — Lorsqu'on transmet un certain nombre de signaux sur une même ligne bifilaire en appliquant la méthode séquentielle, les signaux sont appliqués à la ligne

a) à des fréquences différentes
b) l'un après l'autre
c) sur des porteurs de fréquences différentes
d) sur des porteurs d'amplitudes différentes

86 — Après avoir été appliqués aux conducteurs de transmission par la méthode séquentielle, les signaux sont séparés

a) par comparaison à un signal zéro volt
b) par un rotacteur monté dans le récepteur
c) par des récepteurs accordés sur des fréquences différentes
d) par des amplificateurs électroniques

87 — Sous sa forme la plus simple, la commande à distance peut être réalisée au moyen d'un

a) moteur électrique
b) relais
c) solénoïde
d) interrupteur

88 — Pour commander à distance l'éclairage de plusieurs zones distinctes d'une usine à partir d'endroits différents, le système le plus pratique consiste à utiliser

a) des interrupteurs à quatre positions
b) des commutateurs à plusieurs positions
c) des relais actionnés par de nombreux interrupteurs
d) un seul servomécanisme

LE CHAUFFAGE ET LE SOUDAGE ÉLECTRIQUES

Volume 2 — Section 10 (Pages 70 à 93)

89 — Lorsqu'on choisit un fil résistif en vue d'une certaine application dans le domaine du chauffage, les caractéristiques du fil dont il faut tenir compte sont

a) une forte résistance par centimètre de longueur
b) une température de fusion élevée
c) la souplesse et la résistance à l'oxydation
d) toutes ces caractéristiques

90 — Les forts courants nécessaires au soudage par résistance sont obtenus par

a) l'utilisation d'un transformateur
b) des lignes porteuses de courants de grande intensité provenant d'une source extérieure
c) des redresseurs
d) les courants élevés sont nécessaires ici

91 — Dans le soudage par points, la jonction de deux éléments métalliques résulte

a) de l'augmentation du courant
b) de l'augmentation de la pression exercée par les électrodes
c) de l'éloignement des électrodes
d) de l'application d'un flux de soudage

92 — Le soudage automatique par points ressemble surtout au

a) soudage à l'arc
b) soudage manuel par points
c) soudage par étincelage
d) soudage par bossage

93 — Un des procédés de production du courant pour le soudage à l'arc à courant continu consiste à utiliser une génératrice à courant continu entraînée par un moteur; l'autre procédé également utilisé fait appel à

a) un transformateur à courant continu
b) un transformateur et un condensateur
c) un transformateur et un redresseur
d) un redresseur

94 — Lorsqu'un système de soudage à l'arc à courant continu est monté de manière que la pièce soit reliée au pôle positif de l'alimentation en courant, et l'électrode à la borne négative, on est en présence

a) d'un système à écran de feu
b) d'un système à écran gazeux
c) d'une connexion à polarité inverse
d) d'une connexion à polarité normale

95 — Des baguettes de métal d'apport sont parfois utilisées dans le soudage à l'arc à courant continu. Pendant l'opération de soudage, le métal d'apport est amené à la zone de soudage par

a) des champs électrique et magnétique
b) l'action d'un champ magnétique
c) la pesanteur
d) un contact physique direct

96 — Le soudage à l'hydrogène atomique ressemble surtout

a) au soudage à l'arc à polarité normale
b) au soudage à la torche avec électrodes en charbon
c) au soudage à écran gazeux
d) au soudage à l'arc avec électrode métallique (à courant alternatif)

97 — Les grands fours à arc utilisent un transformateur abaisseur triphasé, et le métal qui se trouve dans le four est connecté au transformateur

a) par induction magnétique
b) par une connexion en étoile
c) par une connexion en « pi »
d) par un enroulement en tube de cuivre

98 — Dans les fours à induction basse fréquence, le métal est agité par

a) des courants de Foucault
b) des vibrations mécaniques
c) une conduction thermique
d) des agitateurs

99 — L'avantage du chauffage par pertes diélectriques par rapport au chauffage par rouleaux presseurs chauffés est l'un des suivants :

a) il est plus économique
b) il nécessite moins d'éléments
c) il engendre des températures plus élevées
d) il engendre de la chaleur au sein du matériau

SYSTÈMES DIVERS DE CONTRÔLE INDUSTRIEL

Volume 2 — Section 11 (Pages 94 à 124)

100 — Les interrupteurs de sécurité utilisés dans l'industrie sont essentiellement destinés à

a) protéger les appareils et les équipements
b) protéger le personnel
c) empêcher le gaspillage des matériaux
d) prévenir les incendies

101 — Le procédé le plus efficace pour couper le courant électrique d'une zone dangereuse lorsque quelqu'un pénètre dans cette zone est de munir la porte d'accès

a) d'une serrure
b) d'une pancarte
c) d'un voyant lumineux
d) d'un interrupteur de verrouillage

102 — L'un des dispositifs les plus simples et les plus anciens utilisés pour actionner une pomme d'arrosage ou une porte isolante consiste en

a) un interrupteur électrique
b) un thermostat
c) une tige et un raccord fondant
d) un relais et un solénoïde

103 — La technique électrique la plus simple en vue de détecter un début d'incendie à n'importe quel endroit d'une grande zone consiste à employer

a) un tube métallique muni d'un conducteur central en métal à très bas point de fusion
b) un grand nombre de thermostats
c) des relais sensibles à la température
d) un système de thermostats et de relais

104 — Dans les ascenseurs à grandes et moyennes vitesses actionnés par un système de commande sans engrenages, on utilise

a) un moteur à courant continu à inducteur compound ou shunt
b) un moteur à courant alternatif triphasé
c) un moteur à courant alternatif monophasé
d) un moteur à courant continu à inducteur série

105 — Les ascenseurs munis de systèmes d'engrenages sont généralement équipés

a) d'un moteur à courant continu à inducteur série
b) d'un moteur à courant continu à inducteur compound
c) d'un moteur à courant continu à enroulement série
d) d'un moteur à courant alternatif, à induction

106 — La méthode électrique la plus simple pour commander la montée, la descente et la vitesse d'un ascenseur utilise

a) un interrupteur à trois directions
b) un circuit de commande de moteur
c) un rhéostat
d) un système Ward-Léonard

107 — Dans le système Ward-Léonard utilisé pour la commande de certains ascenseurs, la mise en route, l'arrêt, et le réglage de la vitesse du moteur d'entraînement sont contrôlés par

a) la vitesse de l'arbre de la génératrice
b) le courant du bobinage d'excitation de la génératrice
c) le potentiomètre du moteur d'entraînement
d) la vitesse du moteur à courant alternatif

108 — L'appareil qui empêche l'application d'une tension ou d'un courant trop grands à la batterie d'une voiture pendant la charge est

a) le régulateur
b) la commande de vitesse de la génératrice
c) le système de fusibles
d) le relais de protection

109 — Le dispositif qui applique la haute tension, au moment nécessaire, à une bougie déterminée du moteur d'automobile s'appelle

a) les vis platinées
b) le système de distribution
c) le delco
d) la bobine

110 — Dans le système de pilotage automatique d'un avion, l'appareil qui détecte les erreurs d'assiette ou de direction est

a) le radiogoniomètre
b) l'altimètre
c) l'interrupteur limiteur
d) le gyroscope